La scienza del pensiero antiscientifico

Le Scienze

Ottobre 2018 € 4,90

www.lescienze.it

edizione italiana di Scientific American

L'enigmatico passaggio dal mondo delle particelle a quello della realtà quotidiana

ATTRAVERSO IL CONFINE QUANTISTICO

Neuroscienze
Il legame tra cervello e sistema immunitario

Neanderthal
Come i nostri antichi cugini andavano a caccia degli orsi delle caverne

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - ROMA
RIVISTA MENSILE - NUMERO 602 - 3 OTTOBRE 2018

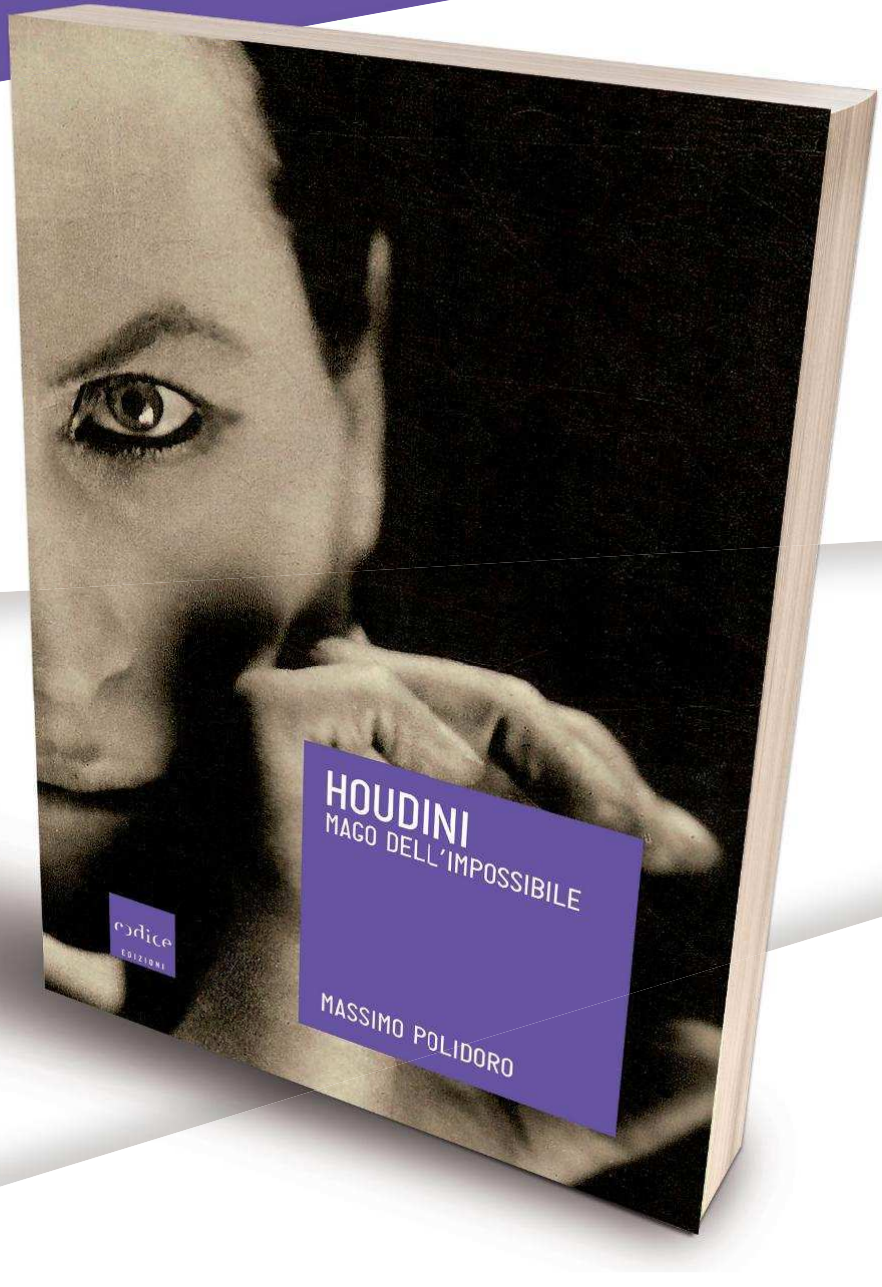
UNA VITA CHE DURÒ SOLO CINQUANTADUE ANNI,
MA COSÌ PIENA DI AVVENTURE E COLPI DI SCENA
DA SEMBRARE UN ROMANZO D'APPENDICE.

MASSIMO POLIDORO

HOUDINI
MAGO DELL'IMPOSSIBILE

pp. 496 | euro 23,00

Con più di 100 fotografie
in bianco e nero e a colori



«CI SONO SOLO TRE NOMI
FAMILIARI AI LETTORI
DEL MONDO CIVILIZZATO:
SHERLOCK HOLMES,
GESÙ CRISTO E HOUDINI.»

GEORGE BERNARD SHAW

facebook.com/codiceedizioni
twitter.com/codice_codice
instagram.com/codice_codice

codice
EDIZIONI

Un grande classico della letteratura scientifica, uno straordinario diario di viaggio che rivive ora in una nuova edizione, arricchita da più di 100 illustrazioni e mappe in bianco e nero e a colori.

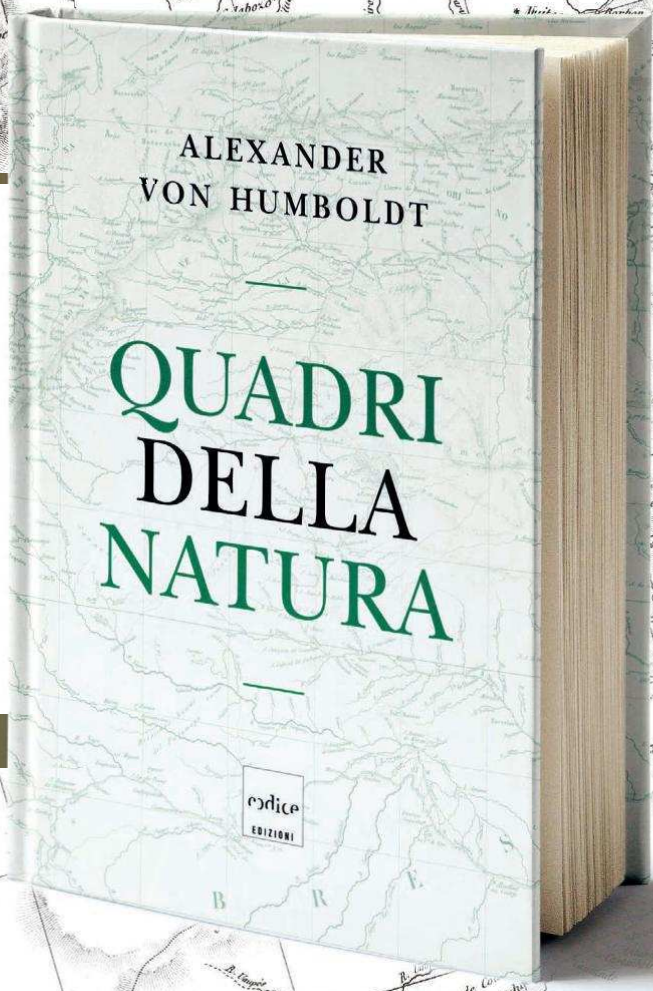
ALEXANDER VON HUMBOLDT

QUADRI DELLA NATURA

544 pagine | 65,00 euro

Con saggi introduttivi di
Telmo Pievani
Franco Farinelli
Elena Canadelli

IN LIBRERIA DAL 25 OTTOBRE



«Uno sguardo d'insieme sulla natura, la verifica dell'azione combinata delle sue forze, il rinnovamento del piacere che dà all'uomo sensibile la vista dei Paesi tropicali: sono questi gli scopi che ho perseguito.»

Alexander von Humboldt

facebook.com/codiceedizioni
twitter.com/codice_codice
instagram.com/codice_codice

codice
EDIZIONI

OTTOCENTO

L'ARTE DELL'ITALIA TRA HAYEZ E SEGANTINI

FORLÌ
MUSEI SAN DOMENICO
9 FEBBRAIO
16 GIUGNO 2019

Informazioni
0543 19 12 030-031

Prenotazioni
mostraforli@civita.it

Catalogo
SilvanaEditoriale

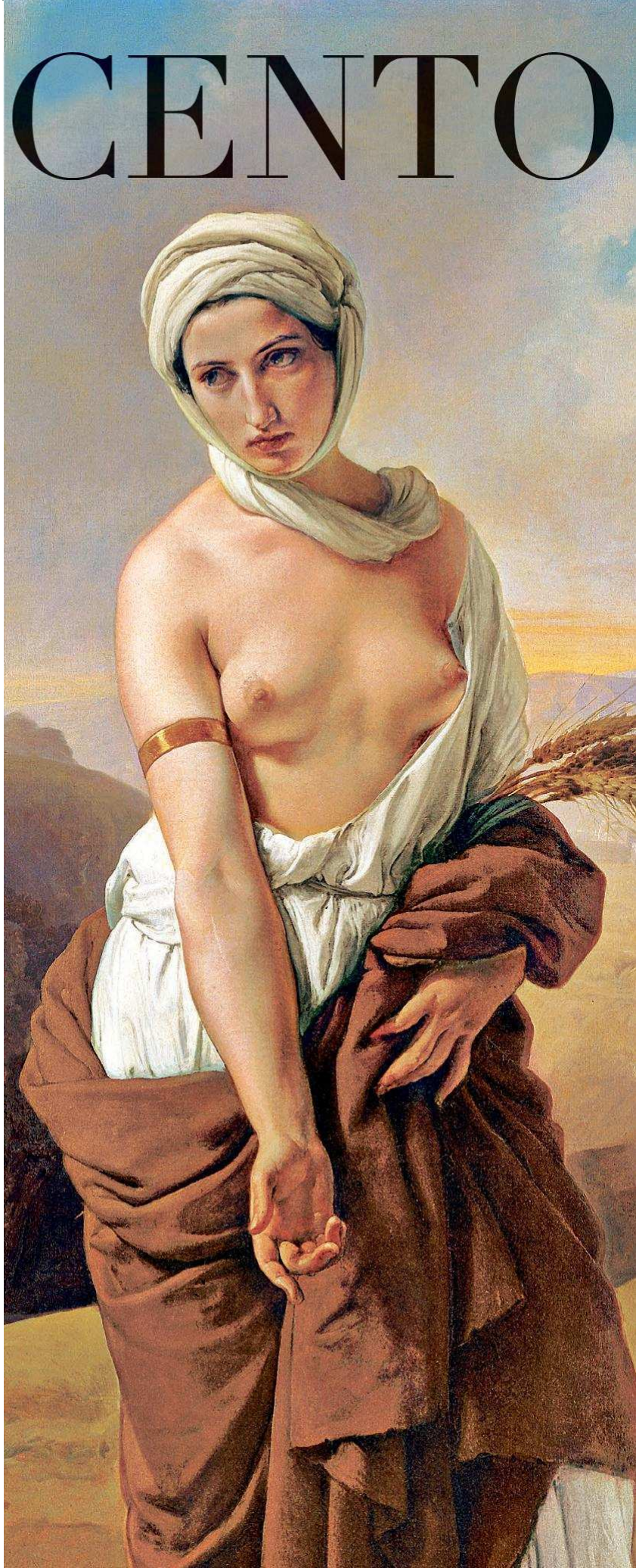
Orario di visita
da martedì a venerdì:
9.30-19.00
sabato, domenica,
giorni festivi: 9.30-20.00
lunedì chiuso
22 e 29 aprile
apertura straordinaria

La biglietteria chiude
un'ora prima

FONDAZIONE CASSA DEI RISPARMI DI FORLÌ

Fondazione
Cassa dei Risparmi
di Forlì

in collaborazione
con
Comune di Forlì



IN COPERTINA

Il micromondo delle particelle subatomiche obbedisce a leggi fisiche diverse rispetto a quelle che descrivono il macromondo che ci è familiare. (Immagine: Russell Kightley/SPL/AGF; elaborazione grafica: Walter Trivellini/Prepress)

Sommario

ottobre 2018 numero 602

70
AMBIENTE
Blu come il carbonio
di Jacopo Pasotti
Una parte importante dell'anidride carbonica presente in atmosfera è assorbita da ecosistemi costieri che tuttavia sono a rischio a causa delle attività umane

FISICA
30 ## Attraversando il confine quantistico
di Tim Folger
L'universo descritto dalla meccanica quantistica è strano e probabilistico, mentre la nostra realtà quotidiana sembra fissa. Nuovi esperimenti mirano ad appurare dove – e perché – si passa da un ambito all'altro

NEUROSCIENZE
38 ## Il settimo senso
di Jonathan Kipnis
Considerato a lungo separato dal cervello, il sistema immunitario si sta rivelando intimamente legato al funzionamento del nostro organo della mente

PSICOLOGIA
46 ## Il pensiero antiscientifico visto dalla scienza
di Douglas T. Kenrick, Adam B. Cohen, Steven L. Neuberg e Robert B. Cialdini
Per convincere chi dubita del cambiamento climatico o della validità dell'evoluzione a modificare le proprie convinzioni bisogna superare distorsioni cognitive assai radicate

BIOLOGIA
52 ## Gli orologi cellulari
di Veronique Greenwood
I cicli dell'organismo: dalla medicina popolare alla scienza moderna

ENERGIE
60 ## Costruire una rete elettrica intelligente basata sul meteo
di Peter Fairley
Le fonti rinnovabili diventeranno protagoniste indiscusse solo quando la progettazione di nuove reti elettriche considererà con attenzione i dati meteorologici

SCIENZE DEGLI OCEANI
66 ## Onde mostruose
di Chris Dixon
Le tecnologie per le previsioni meteorologiche e l'esperienza dei surfisti permettono cavalcate da record sui cavalloni più grandi del pianeta

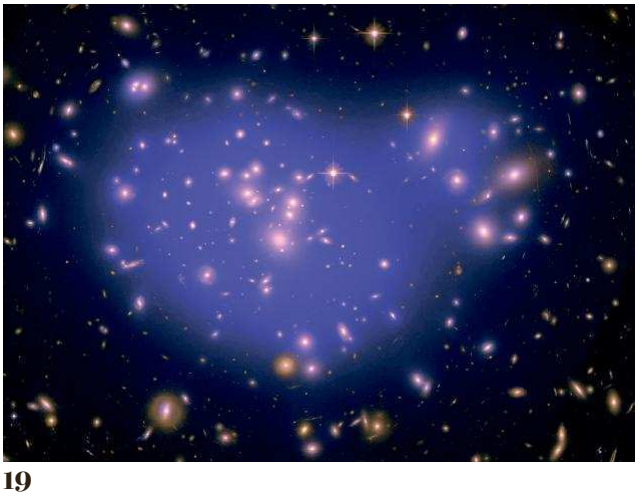
PALEOANTROPOLOGIA
76 ## I Neanderthal a caccia di orsi
di Marco Peresani e Matteo Romandini
Durante il Paleolitico in Europa gli uomini di Neanderthal praticavano un'attività rischiosa sebbene importante per la loro economia, la caccia agli orsi che trovavano riparo nelle caverne

MATEMATICA
82 ## Arte fatta di numeri
di Stephen Ornes
Una galleria di immagini e di sculture prodotte da matematici e da artisti e ispirate ai principi della matematica rivela la bellezza di questa disciplina

Mathieu Foulquié/AGF

Sommario

18



19

89

Rubriche

9 **Editoriale**
di Marco Cattaneo

10 **Anteprima**

12 **Intervista**
Un atlante delle cellule umane *di Giovanni Sabato*

14 **Made in Italy**
Finestre fotoniche *di Letizia Gabaglio*

17 **Scienza e filosofia**
L'uomo che voleva volare *di Telmo Pievani*

18 **Il matematico impertinente**
Concerto di matematica *di Piergiorgio Odifreddi*

19 **La finestra di Keplero**
Omaggio a Georges Lemaître *di Amedeo Balbi*

20 **Homo sapiens**
Figlia del Pleistocene *di Giorgio Manzi*

88 **Coordinate**
Tesoro, si sono ristretti i mammiferi *di Mark Fischetti*

89 **Povera scienza**
Il vulcano Krakatoa e i big data *di Paolo Attivissimo*

90 **La ceretta di Occam**
Do you speak scientifichese? *di Beatrice Mautino*

91 **Pentole & provette**
Come ti spezzo lo spaghetto *di Dario Bressanini*

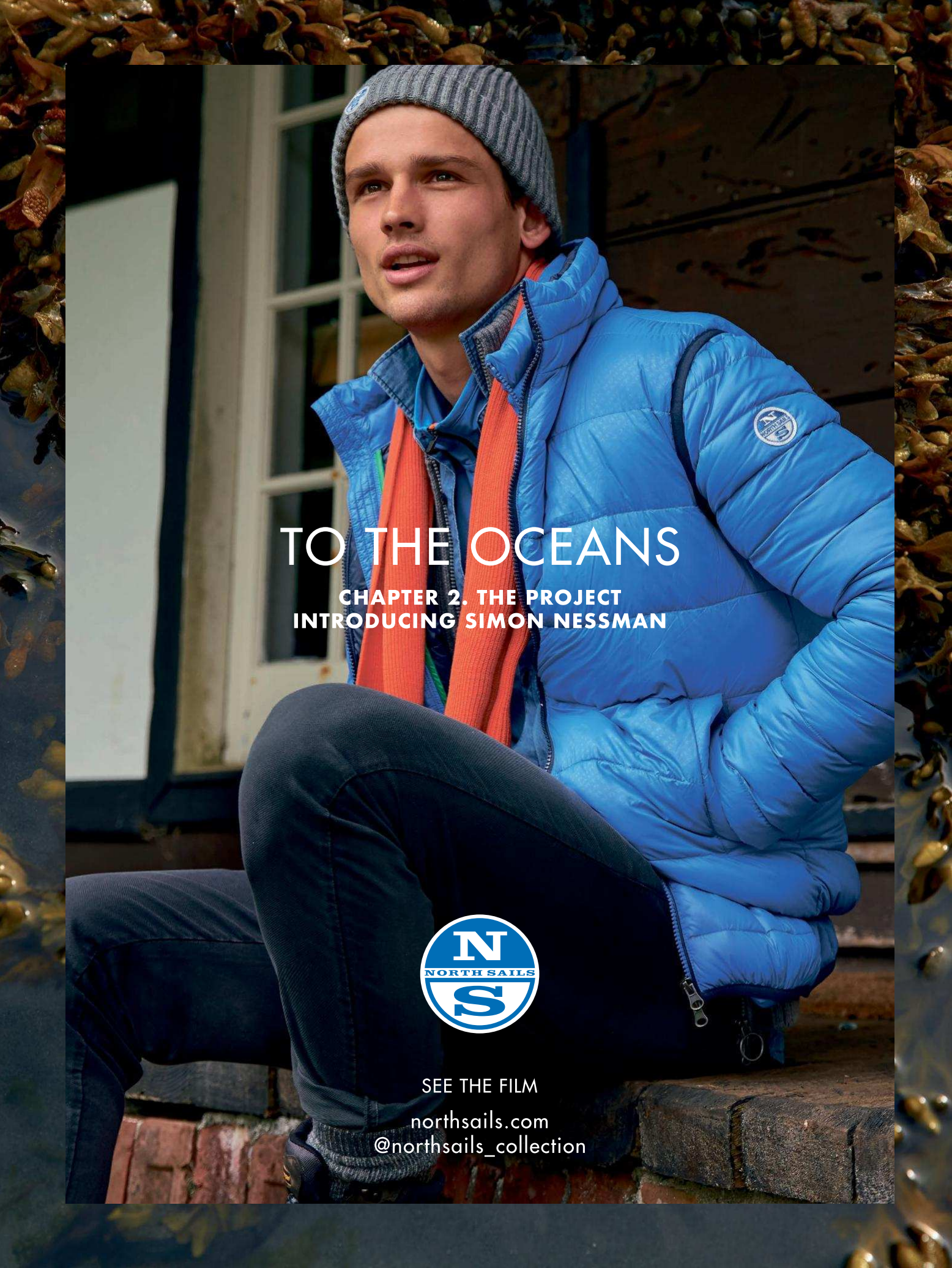
92 **Rudi matematici**
Spacciatori di formule
di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

94 **Libri & tempo libero**

SCIENZA NEWS

21 Un futuro a rischio alimentare
22 La meccanica quantistica per i quasar
22 Un nuovo modo per trovare i buchi neri
23 La prima terapia con RNA
23 Dai batteri un aiuto per le trasfusioni?
24 Nell'occhio del ciclone
24 Anche la plastica riscalda la Terra
26 I due geni che regolano i sogni
26 Scoperto un nuovo tipo di neurone (forse) esclusivo dell'essere umano
27 Gli strani effetti dei robot sui bambini
27 Altre specie che vanno in menopausa
28 Brevissime

Ted Streshinsky/CORBIS/Corbis/Getty Images (*pianista*); NASA/ESA/JPL-Caltech/Yale/CNRS (*costellazione*); andersen_oystein/iStock (*vulcano*)


TO THE OCEANS
CHAPTER 2. THE PROJECT
INTRODUCING SIMON NESSMAN
NORTH SAILS
SEE THE FILM
northsails.com
@northsails_collection

Y&R

LEGGI
LE SCIENZE E MIND
DIRETTAMENTE
SUL PC.

SFOGLIA LE SCIENZE E MIND ONLINE.

I migliori approfondimenti su scienze, innovazione, neuroscienze e psicologia. Scegli l'abbonamento che preferisci e leggi le riviste comodamente a casa sul tuo pc. Inoltre su App Store è disponibile l'app di Le Scienze. Scopri tutte le offerte sul sito: http://s.lescienze.it/offerte

Le Scienze

di Marco Cattaneo

L'Europa che arranca

I fondi di ricerca a dieci anni dal crack Lehman Brothers

Un paio di settimane fa, precisamente il 15 settembre, ricorreva il decennale di uno dei passaggi più gravi della recente crisi economica globale, il *crack* della banca d'affari Lehman Brothers, la più colossale bancarotta della storia. Il crollo portò ulteriore instabilità su mercati già provati e incertezza sulla durata della recessione che aveva innescato.

Dieci anni dopo, «Nature» è andata a verificare come è cambiato l'investimento in ricerca e sviluppo dei paesi dell'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (l'OCSE) in seguito alla crisi. Il *trend* generale ha fatto segnare un periodo iniziale di caduta degli investimenti privati, compensati da maggiori investimenti pubblici. È stato così, per esempio, negli Stati Uniti, dove i finanziamenti industriali per la ricerca sono diminuiti del 10 per cento nei primi due anni ma sono stati compensati da un +8 per cento di fondi pubblici. Ma la tendenza si è invertita dopo il 2010, quando la spesa privata ha ricominciato ad aumentare (e continua a farlo), mentre quella pubblica è lievemente diminuita.

Franco Cavassi/AGF

Diversamente, nei paesi asiatici – escluso il Giappone, che ha visto una riduzione iniziale della ricerca privata – gli investimenti in ricerca sia pubblici che privati sono costantemente cresciuti, soprattutto all'inizio del decennio. Ne è un esempio la Corea del Sud, dove i fondi pubblici sono cresciuti dell'11 per cento nel 2009 e solo dell'1 per cento quest'anno.

Ma veniamo all'Europa, e ai confronti che ci riguardano più da vicino. Qui la situazione – illustrata su «Nature» da Jeremy Rehm – si può riassumere con tre tendenze distinte. Da un lato i paesi dell'Est, dove gli investimenti in ricerca e sviluppo sono cresciuti stabilmente, in questo decennio, grazie soprattutto ai fondi strutturali dell'Unione Europea. E non è una sorpresa: anzitutto sono stati meno colpiti dal crollo della finanza internazionale, e poi partivano da livelli di investimento già bassi.

Nei paesi del Nord Europa, come Germania, Danimarca e Regno Unito, che hanno economie solide e una forte spinta all'innovazione, i fondi per la ricerca sono rimasti cospicui sia nel settore pubblico che in quello privato. Tra il 2008 e il 2016 in Germania l'investimento in ricerca è passato da meno di 20 a 29 miliardi di euro, con una crescita del 46 per cento.

E veniamo alle dolenti note. Nei paesi del Sud, Grecia, Spagna e anche Italia, maggiormente colpiti dalla crisi, i finanziamenti pubblici alla ricerca sono diminuiti o sono rimasti stagnanti, e così, scrive Rehm, «molti paesi dell'Europa meridionale sono diventati dipendenti dai fondi strutturali dell'Unione», con la conseguenza che la distanza tra i paesi in termini di fondi di ricerca è ulteriormente aumentata.

Se l'Unione Europea vuole promuovere la coesione e l'equità tra i paesi membri, allora deve finanziare di più i paesi che ancora soffrono le conseguenze della crisi economica, perché possano ripartire. Lo dichiara su «Nature» Teemu Makkonen, docente di geografia economica.

Makkonen non è un populista greco o un sovranista italiano, è finlandese. E forse è davvero tempo che a Bruxelles si faccia una riflessione laica in materia.

Comitato scientifico

Leslie C. Aiello
presidente, Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research

Roberto Battiston
professore ordinario di fisica sperimentale, Università di Trento

Roger Bingham
docente, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Edoardo Boncinelli
docente, Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Arthur Caplan
docente di bioetica, Università della Pennsylvania

Vinton Cerf
Chief Internet Evangelist, Google

George M. Church
direttore, Center for Computational Genetics, Harvard Medical School

Rita Colwell
docente, Università del Maryland a College Park e Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health

Richard Dawkins
fondatore e presidente, Richard Dawkins Foundation

Drew Endy
docente di bioingegneria, Stanford University

Ed Felten
direttore, Center for Information Technology Policy, Princeton University

Kaigham J. Gabriel
presidente e CEO, Charles Stark Draper Laboratory

Harold Garner
direttore, divisioni sistemi e informatica medici, docente, Virginia Bioinformatics Institute, Virginia Tech

Michael S. Gazzaniga
direttore, Sage Center for the Study of Mind, Università della California a Santa Barbara

David Gross
docente di fisica teorica, Università della California a Santa Barbara (premio Nobel per la fisica 2004)

Danny Hillis
co-presidente, Applied Minds, LLC

Daniel M. Kammen
direttore, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Università della California a Berkeley

Vinod Khosla
Partner, Khosla Ventures

Christof Koch
presidente dell'Allen Institute for Brain Science di Seattle

Lawrence M. Krauss
direttore, Origins Initiative, Arizona State University

Morten L. Kringelbach
direttore, Hedonia: TrygFonden Research Group, Università di Oxford e Università di Aarhus

Steven Kyle
docente di economia applicata e management, Cornell University

Robert S. Langer
docente, Massachusetts Institute of Technology

Lawrence Lessig
docente, Harvard Law School

John P. Moore
docente di microbiologia e immunologia, Weill Medical College, Cornell University

M. Granger Morgan
docente, Carnegie Mellon University

Miguel Nicolelis
condirettore, Center for Neuroengineering, Duke University

Martin Nowak
direttore, Program for Evolutionary Dynamics, Harvard University

Robert Palazzo
docente di biologia, Rensselaer Polytechnic Institute

Telmo Pievani
professore ordinario filosofia delle scienze biologiche, Università degli Studi di Padova

Carolyn Porco
leader, Cassini Imaging Science Team, e direttore, CICLOPS, Space Science Institute

Vilayanur S. Ramachandran
direttore, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Lisa Randall
docente di fisica, Harvard University

Carlo Alberto Redi
docente di zoologia, Università di Pavia

Martin Rees
docente di cosmologia e astrofisica, Università di Cambridge

John Reganold
docente di scienza del suolo, Washington State University

Jeffrey D. Sachs
direttore, The Earth Institute, Columbia University

Eugenie C. Scott
Founding Executive Director, National Center for Science Education

Terry Sejnowski
docente e direttore del Laboratorio di neurobiologia computazionale, Salk Institute for Biological Studies

Michael Shermer
editore, rivista «Skeptic»

Michael Snyder
docente di genetica, Stanford University School of Medicine

Giorgio Vallortigara
docente di neuroscienze, direttore associato, Centre for Mind/Brain Sciences, Università di Trento

Lene Vestergaard Hau
docente di fisica e fisica applicata, Harvard University

Michael E. Webber
direttore associato, Center for International Energy & Environmental Policy, Università del Texas ad Austin

Steven Weinberg
direttore, gruppo di ricerca teorica, Dipartimento di fisica, University del Texas ad Austin (premio Nobel per la fisica 1979)

George M. Whitesides
docente di chimica e biochimica, Harvard University

Nathan Wolfe
direttore, Global Viral Forecasting Initiative

Anton Zeilinger
docente di ottica quantistica, Università di Vienna

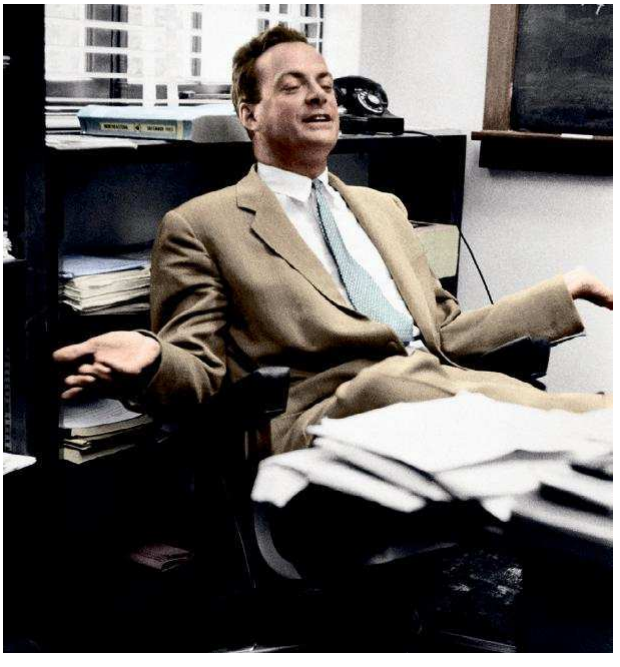
Jonathan Zittrain
docente di legge e computer science, Harvard University

Un incontro monumentale

A richiesta con «Le Scienze» di novembre *Il labirinto dei quanti,* di Paul Halpern

Non di rado nella storia della scienza il ruolo del caso è stato decisivo nella genesi di scoperte che hanno cambiato profondamente la nostra visione della realtà e il nostro posto nel mondo. Se poi le scoperte riguardano la meccanica quantistica, il quadro teorico che descrive i fenomeni del mondo atomico e subatomico, allora il ruolo del caso diventa ironico, visto che il mondo dei quanti è permeato di casualità e probabilità.

In effetti traspare una certa ironia di fondo in *Il labirinto dei quanti*, libro di Paul Halpern, allegato a richiesta con «Le Scienze» di novembre e in vendita nelle librerie per Codice Edizioni, in cui si racconta l'incontro avvenuto nel 1939 alla Princeton University, negli Stati Uniti, tra John Archibald Wheeler, all'epoca ventottenne, e Richard Feynman, di sette anni più giovane.



Fu un incontro casuale perché inizialmente, dopo l'ammissione a Princeton, Feynman avrebbe dovuto essere l'assistente di Eugene Wigner, fisico di origini ungheresi che si occupava sempre di fisica quantistica, ma all'ultimo momento fu assegnato a Wheeler. Fu anche un incontro monumentale tra due fisici assai originali che hanno avuto il coraggio, forse la sfrontatezza, di ripensare dalle fondamenta la fisica quantistica negli anni in cui divideva aspramente la comunità scientifica. Lo sapeva bene un altro ospite di Princeton di quel periodo, Albert Einstein, il quale detestava la meccanica quantistica, il «giocare a dadi» di questa teoria emersa agli inizi del Novecento, proprio mentre il fisico tedesco, convinto seguace del determinismo, metteva a punto la teoria della relatività.

Dal punto di vista professionale, Wheeler e Feynman erano due tipi molto diversi. Il primo era ricco di immaginazione, aveva intuizioni di vasta portata; il secondo invece era cauto e accurato, ed eccelleva nei calcoli. Erano due tipi molto diversi anche nel carattere. Feynman odiava le convenzioni, ricorda Halpern, sfidava le attese del pubblico su come dovesse essere uno «scienziato serio»; Wheeler, al contrario, era tranquillo, misurato e aveva un modo di fare e di parlare educato. Eppure, anche se così differenti, il loro sodalizio nato nel 1939 durò per tutta la vita, fino alla morte di Feynman nel 1988 (Wheeler ci ha lasciati nel 2008), trasformando il rapporto tra studente e mentore in un'amicizia alla pari.

I risultati scientifici di questo rapporto umano tra due grandi menti della fisica sono tanti e delineati con cura da Halpern in un libro che è anche un affresco su un periodo d'oro della scienza, in cui fanno capolino, oltre al già citato Einstein, molti altri fisici che hanno avuto rapporti con Wheeler e Feynman.

Basterebbe citare il Nobel assegnato nel 1965 a Feynman per la sua elettrodinamica quantistica, una delle teorie più precise della fisica, che descrive le interazioni tra luce e materia; oppure il ruolo cruciale di Wheeler nell'elaborazione di una teoria quantistica della gravità, e più in generale nel riportare dopo la seconda guerra mondiale la relatività generale di Einstein all'attenzione della comunità scientifica dopo un lungo periodo di oblio: sarà un passaggio fondamentale per un ambito di ricerca che culminerà nella prima rilevazione diretta di onde gravitazionali nel 2015. E non finisce qui. Le idee di Wheeler e Feynman hanno trasformato il concetto di tempo: da semplice flusso immutabile in un'unica direzione, il tempo è diventato un labirinto di alternative. Una delle conseguenze teoriche è che potremmo vivere in uno di tanti universi paralleli, un'eventualità per niente gradita da Wheeler e Feynman. Ma chissà se esiste davvero un universo parallelo in cui quell'incontro del 1939 non è avvenuto e questo libro non è stato scritto.

RISERVATO AGLI ABBONATI

Gli abbonati possono acquistare i volumi di **La Biblioteca delle Scienze** al prezzo di € 9,00, incluso il prezzo di spedizione, telefonando al numero 0864.256266. La stessa offerta è valida per richiedere i volumi delle collane **I grandi della scienza a fumetti**, **I manga delle scienze** e **Esperimenti Scientifici**: in tutti e tre i casi gli abbonati possono acquistare i volumi al prezzo di € 9,90 incluse le spese di spedizione.

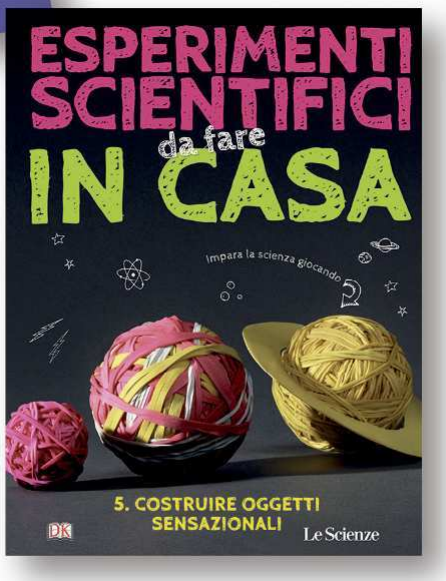
SPL/AGF

Dal DNA al sistema solare

Questo mese a richiesta con la rivista il nuovo volume di *Esperimenti scientifici*

La scuola è ricominciata da un po' ed è arrivato l'autunno. Ormai si trascorre più tempo in casa che all'aperto rischiando di annoiarsi tra un compito e l'altro. Eppure proprio in casa si trova un numero sorprendente di oggetti quotidiani con cui effettuare esperimenti divertenti e interessanti, basta sfogliare *Costruire oggetti sensazionali*, nuova uscita della collana *Esperimenti scientifici*, in edicola con «Le Scienze» di ottobre a 9,90 euro in più oltre al prezzo della rivista.

Bastano un po' di carta ed elastici, per esempio, e possiamo costruire un sistema solare da esplorare tra le quattro mura della nostra abitazione; e ancora, con evidenziatori, nastro adesivo e carta possiamo capire la struttura del DNA, la molecola della vita; con una bottiglia, dei palloncini e qualche cannuccia possiamo indagare come funziona il sistema respiratorio, e se vi avanza qualche palloncino dall'esperimento precedente, tanto meglio: con cartoncino e tappi di plastica, costruiremo auto che vanno come razzi.



E ricordatevi: scattate foto e realizzate video dei vostri esperimenti, poi pubblicateli su Facebook taggando «Le Scienze» e aggiungendo l'hashtag #ilmioesperimento: sceglieremo i migliori da condividere sulla nostra pagina Facebook.

Che aspettate? Vi aspettiamo!

PIANO DELL'OPERA

Esperimenti scientifici da fare all'aperto

GIUGNO
Giocare con la natura

LUGLIO
La potenza dell'acqua e dell'aria

AGOSTO
Le forze della Terra e del cielo

Esperimenti scientifici da fare in casa

SETTEMBRE
La chimica nel cibo

OTTOBRE
Costruire oggetti sensazionali

NOVEMBRE
Capire lo stato liquido

di Giovanni Sabato

Un atlante delle cellule umane

Piero Carninci descrive il grande progetto internazionale che mira a descrivere a livello molecolare tutti i tipi di cellule da cui è composto il corpo umano

Secondo i manuali, il corpo umano contiene circa 300 tipi di cellule. Negli ultimi anni ne sono emersi 300 tipi diversi solo nel sistema immunitario; e pare che un centinaio di neuroni distinti popolino la retina. Con le tecnologie più recenti, che analizzano a livello molecolare una singola cellula, la classificazione tradizionale appare assai grossolana. Così è nata l'idea: creare un atlante che descriva a livello molecolare tutti i tipi di cellule umane, in tutti i loro stati: mature e immature, attive e quiescenti, nello sviluppo e nella senescenza. È lo Human Cell Atlas, un progetto ideato due anni fa su iniziativa di ricercatori del Broad Institute in Massachusetts, del Wellcome Sanger Institute britannico, del Karolinska Institute a Stoccolma e del RIKEN giapponese, e che ora è entrato nel vivo coinvolgendo centinaia di scienziati nel mondo. Ce ne parla Piero Carninci, uno degli ideatori e membro del comitato organizzatore.

Perché fare uno sforzo simile?

È un seguito logico del Progetto genoma, che ha trasformato il modo di lavorare in biologia ma lascia irrisolta una grande domanda: perché le cellule, avendo tutte lo stesso genoma (o quasi), sono diverse. Quindi occorre indagare che cosa fanno i geni, studiando l'RNA prodotto in tutti i tipi e gli stati cellulari.

Come mai lei è stato coinvolto?

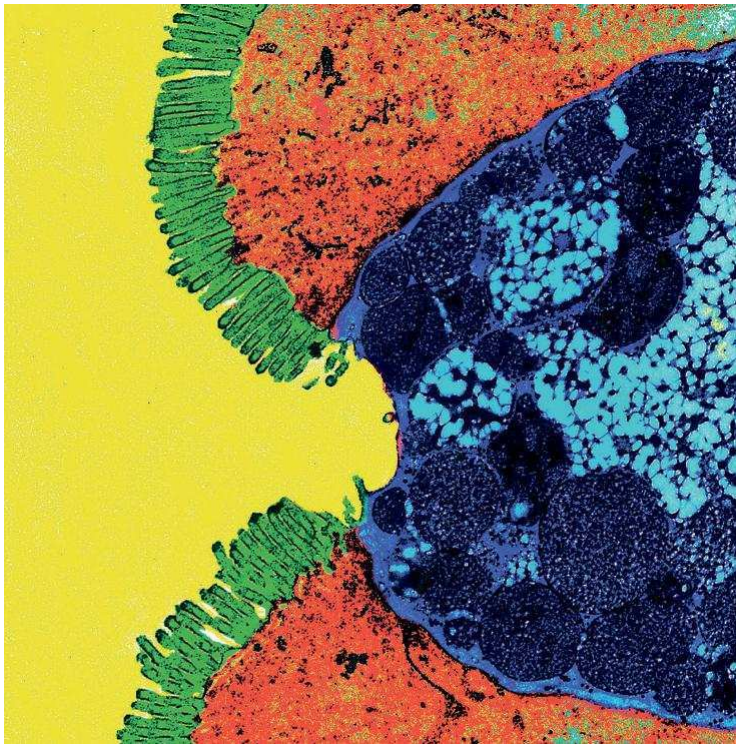
Noi rivendichiamo un po' la paternità dell'idea. Da oltre vent'anni al RIKEN abbiamo deciso di studiare il genoma non competendo con i giganteschi centri che sequenziavano il DNA umano, ma facendo una mappa dei trascritti, con il progetto FANTOM. Tra il 2014 e il 2015 abbiamo pubblicato un catalogo completo dell'espressione delle linee cellulari primarie umane disponibili nei laboratori. Ma queste sono pur sempre cellule coltivate, seppure brevemente, *in vitro*, soggette ad alterazioni rispetto allo stato originario. Quindi occorre studiare le cellule appena prelevate dall'organismo.

E questo è fattibile?

Sì. Le tecnologie diventano sempre più rapide ed economiche. A partire da quelle per sequenziare l'RNA di una singola cellula, sviluppate da pochi anni. L'idea è campionare un po' alla volta tutti i tessuti: prendo un frammento di tessuto, lo disaggrego rapidamente e metto le cellule tal quali in strumenti che ne analizzano decine di migliaia per volta, amplificando e individuando i trascritti e identificando da quale cellula vengono, grazie a una sorta di codici a barre molecolari. Così troviamo che cellule dall'aspetto simile hanno profili di attività genica anche molto diversi.

Quante cellule bisognerà analizzare?

Con diversi milioni avremo una prima bozza, ma l'obiettivo è



Cortesia Piero Carninci (*Carninci*); BSIP/UIG/Getty Images (*cellula calciforme*)

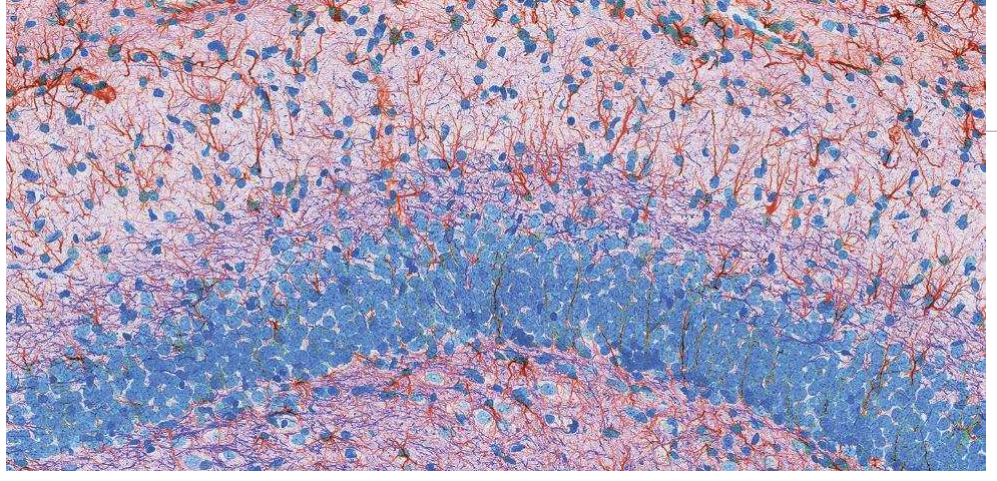
CHI È

Piero Carninci si è laureato in scienze biologiche all'Università di Trieste nel 1989. Ha poi sviluppato tecnologie per estrarre e sequenziare il DNA nella start-up Talent.

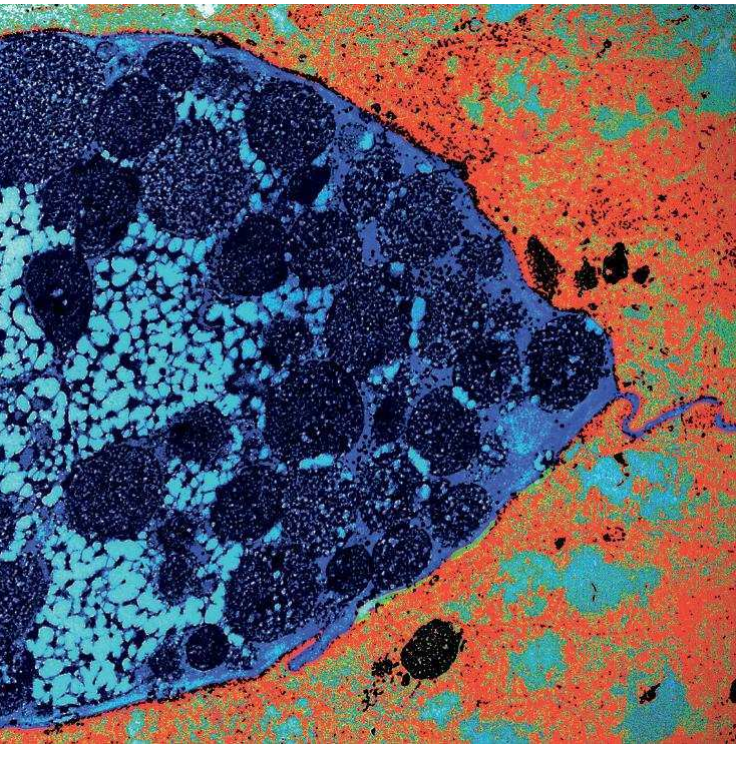
Dal 1995 lavora al RIKEN in Giappone, dove è di ruolo dal 1997 e ha ricoperto incarichi in vari centri, sviluppando tecnologie per le analisi degli RNA e usandole per la serie di progetti FANTOM, che hanno indagato i trascritti dei geni, gli RNA non codificanti e il controllo dell'espressione genica.

Dall'aprile 2013 al marzo 2018 è stato direttore della Division Genomics Technologies e vicedirettore del RIKEN Center for Life Science Technologies. Da aprile è vicedirettore del RIKEN Center for Integrative Medical Sciences.

Ha pubblicato oltre 300 articoli e capitoli di libri, è membro del board di varie riviste e ha vinto numerosi premi.



Al microscopio. Accanto, una sezione di ippocampo umano con visibili le cellule nervose da cui è composto; sotto al centro, cellula caliciforme umana.



Thomas Deerinck, NCMIR/SPL/AGF

di farne alcuni miliardi, con una campionatura abbastanza estesa di tutti gli organi. In cinque anni contiamo di avere una bozza e in meno di dieci una mappa tridimensionale ad alta risoluzione. Ma i dati verranno resi pubblici via via che li abbiamo, per cui l'utilità inizia fin da ora.

L'atlante quindi sarà in 3D, per costruire una sorta di modello del corpo umano?

Sì, e anche per questo ci sono varie tecniche. Per esempio fai tante sezioni consecutive di un tessuto, da ciascuna trasferisci gli RNA su un vetrino e li analizzi a livello di singola cellula, e al computer assembli il tutto, ricostruendo la mappa d'espressione in 3D cellula per cellula. Per inciso, è una tecnica che si sta rivelando utile in oncologia, perché individua cellule alterate che all'esame istopatologico classico sembravano normali. L'ennesimo esempio di come questi sviluppi tecnologici passino di mano in fretta rispetto all'ambito in cui sono nati.

A che cosa servirà?

Beh, in tantissimi settori: dal descrivere in dettaglio come funzionano i tessuti e come comunicano le cellule, al seguire le singole cellule nello sviluppo e nel differenziamento, o capire come si attivano le cellule immunitarie in risposta a un patogeno, per fare solo qualche esempio. E ovviamente in medicina per cercare nuove cure. Cosa peraltro importante per i fondi, visto che è fra le prime cose che ci chiedono i finanziatori. Ma di certo per capire che cosa non va nei tessuti malati dobbiamo prima descrivere quelli sani.

C'è già qualche risultato concreto?

Proprio quest'estate su «Nature» è uscito un lavoro importante (non mio): si è scoperto un nuovo tipo di cellule rare nella mucosa della trachea, che producono la proteina responsabile, se difettosa, della fibrosi cistica. Prima si pensava che fosse prodotta da un tipo di cellule tracheali comuni, ma ora sappiamo che non è così. E ciò potrà aiutare a capire la malattia e cercare terapie.

Chi avrà accesso ai dati raccolti?

Il principio è che tutto, dai dati grezzi alle analisi, sia pubblico, aperto a chiunque sappia farci qualcosa. Il potere scientifico non sta nel possedere i dati ma in chi sa analizzarli: dallo studente che vuole capire i tipi cellulari, al patologo, al bioinformatico o alle case farmaceutiche. Servono cervelli che sappiano fare domande, sfruttando a fondo la bioinformatica, la biologia computazionale, l'intelligenza artificiale e via dicendo.

Molti megaprogetti in biologia hanno attirato forti critiche. È successo anche a voi?

Guardi, su Twitter c'era una classifica dei progetti di cui si parla peggio, e il nostro a un certo punto era fra i tre più criticati. Una grossa obiezione era che per ricavare i dati sulle singole cellule occorre amplificare molto le copie degli RNA, introducendo artefatti che renderebbero i dati poco attendibili. Ma in realtà i metodi per avere esiti affidabili ci sono. Un'altra accusa è che accumuliamo dati ma non informazioni; ma già il lavoro sulla trachea mostra che non è vero. E alla fine questi progetti criticatissimi si sono rilevati estremamente utili, a partire dal progetto genoma.

Un dubbio: fino a che punto due cellule un po' diverse sono dello stesso tipo o no?

È un'ottima domanda a cui per ora non abbiamo risposta. La prova finale potrebbe essere: se scambi due cellule fra loro e l'organismo funziona allo stesso modo, vuol dire che si equivalgono. Ma è anche vero che il corpo umano è molto versatile e anche senza alcune cellule continua a funzionare lo stesso. Serviranno molti più dati per capirlo. Se abbiamo due cellule simili, una attiva e l'altra no, è difficile capire se sono due diversi stati della stessa cellula o due tipi diversi. Quando però ne avremo 500, con tutti gli eventuali stati intermedi, allora capiremo se c'è un confine netto o una transizione continua.

di Letizia Gabaglio

Finestre fotoniche

Glass to Power ha sviluppato una tecnologia per trasformare le finestre in pannelli solari semitrasparenti con cui soddisfare il fabbisogno energetico di un edificio

Nella vita è facile incontrare persone; più difficile è cogliere le occasioni che quelle persone ci propongono: guardare oltre, immaginarsi gli sviluppi futuri. Sergio Brovelli e Francesco Meinardi ci sono riusciti. Quando si sono rincontrati nel 2012 – entrambi si erano specializzati in scienza dei materiali all'Università degli Studi di Milano-Bicocca – le loro strade scientifiche avevano preso direzioni diverse, ma i due ricercatori hanno saputo cogliere l'occasione, capendo che quelle strade si potevano incrociare, e con successo. Brovelli ha lavorato all'estero allo studio di nanoparticelle semiconduttrici con cui realizzare materiali che si possono controllare a livello atomico e che hanno applicazioni in fotonica. Meinardi si è occupato a lungo dello studio della tecnologia a concentrazione solare, che mira alla produzione di energia sfruttando i raggi solari che colpiscono superfici riflettenti. Una tecnologia che, dopo un primo momento di sviluppo, si era arenata: i dispositivi a concentrazione solare hanno bisogno di emettitori che assorbano la luce in maniera efficiente e che la riemettano a una lunghezza d'onda diversa da quella assorbita. Cosa che la natura non ama fare perché ama la simmetria: luce rossa darà prevalentemente luce rossa; la verde, verde e così via.

«Con i materiali usati fino a quel momento, queste difficoltà non riuscivano a essere aggirate e di conseguenza non era possibile creare un dispositivo di grandi dimensioni», spiega Brovelli. «Ma quando io e Francesco ci siamo messi a parlare abbiamo subito capito che i miei studi erano la soluzione ai suoi problemi. E così abbiamo cominciato a lavorare al nostro progetto comune: creare finestre in grado di trasformare gran parte della luce solare che le colpisce in energia da usare per rendere energeticamente autonomi gli edifici». Nasce così l'idea di Glass to Power, azienda che nei prossimi mesi aprirà uno stabilimento di produzione a Rovereto, in provincia di Trento, dando così una accelerata sostanziale verso l'industrializzazione dei suoi prodotti.

Dal laboratorio al mercato

Ma facciamo un passo indietro, perché dal laboratorio al mercato la strada è fatta di studio, ricerca e confronto. La teoria è chiara: bisogna creare lastre trasparenti al cui interno ci siano sostanze in grado di assorbire e di riemettere la luce, che così rimane intrappolata e si propaga, riflettendosi, fino ad arrivare ai bordi delle lastre, dove trova piccole celle solari che la convertono in elettricità. La pratica un po' meno: affinché funzioni l'oggetto non deve assorbire la sua stessa luce altrimenti si abbassa la sua efficienza; un obiettivo difficile soprattutto con dispositivi di grandi dimensioni. Ma le particelle su cui ha lavorato Brovelli sono proprio capaci di assorbire luce visibile e trasformarla in infrarossa senza assorbirla. La dimostrazione è arrivata nel 2014 con la prima pubblicazione degli studi effettuati dai due ricercatori su «Nature Photonics» a cui ne seguono altre in cui la tecnologia viene via via migliorata. «A quel punto abbiamo deciso di depositare un brevetto», continua Brovelli, presidente del comitato scientifico dell'azienda. «Avevamo in mente lo sviluppo industriale, anche se non ci era chiaro come avremmo dovuto procedere». A quel punto è arrivato un altro incontro virtuoso, quello con Emilio Sassone Corsi, oggi amministratore delegato dell'azienda, esperto di *open innovation*, che propone ai due di dare vita a uno *spin-off*.

«Da lì siamo partiti, con un capitale sociale di 300.000 euro raccolto da fondi privati», racconta ancora Brovelli. «L'anno dopo abbiamo ricapitalizzato a 1,5 milioni di euro sempre grazie a fondi privati e *crowdfounding*, fino ad arrivare all'ultima capitalizzazione, di quest'anno, con cui abbiamo portato il valore societario a 12 milioni di euro». Nel frattempo Glass to Power ha vinto numerosi premi per l'innovazione, in Italia e all'estero, e si è fatta notare per il suo approccio innovativo a un problema scientifico – rendere fruibile la tecnologia a concentrazione solare – che rimaneva senza soluzione ormai da trent'anni.

Il prodotto principale di Glass to Power sono vetrocamere, la porzione in vetro che viene infilata nell'infisso, che contengono il dispositivo fotovoltaico già cablato con l'uscita elettrica che vie-

LA SCHEDA

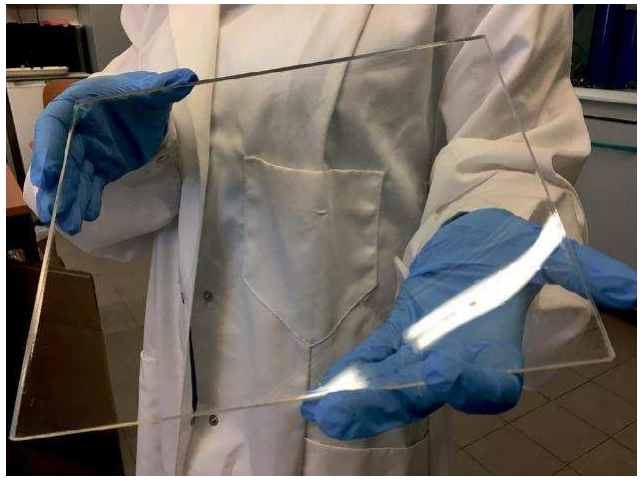
Glass to Power

Fatturato
n.d.

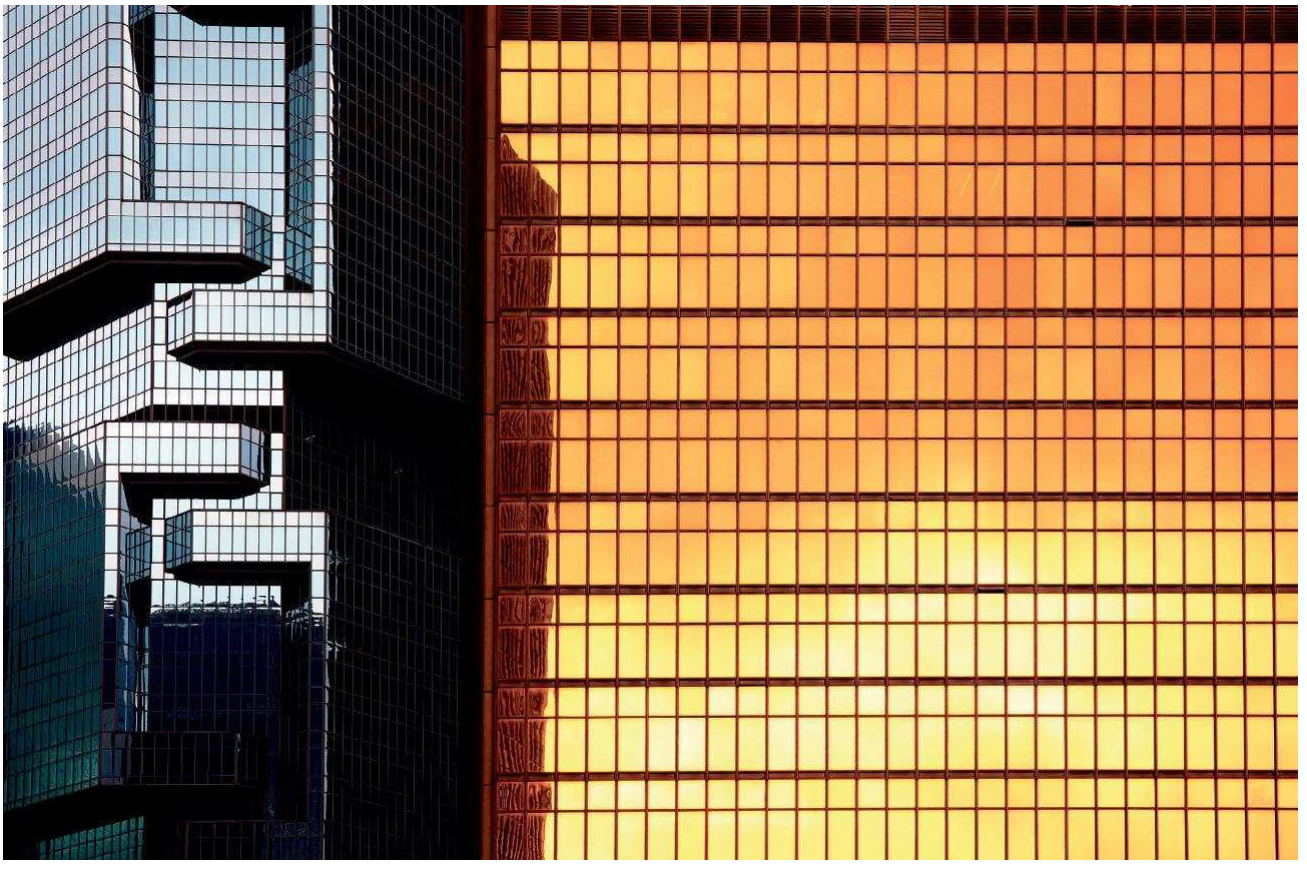
Investimenti in ricerca
oltre un milione di euro

Dipendenti/collaboratori
5 di cui 4 impiegati in R&S

Brevetti rilasciati
3



Cortesia Glass to Power (*foto in questa pagina e in basso nella pagina a fronte*)



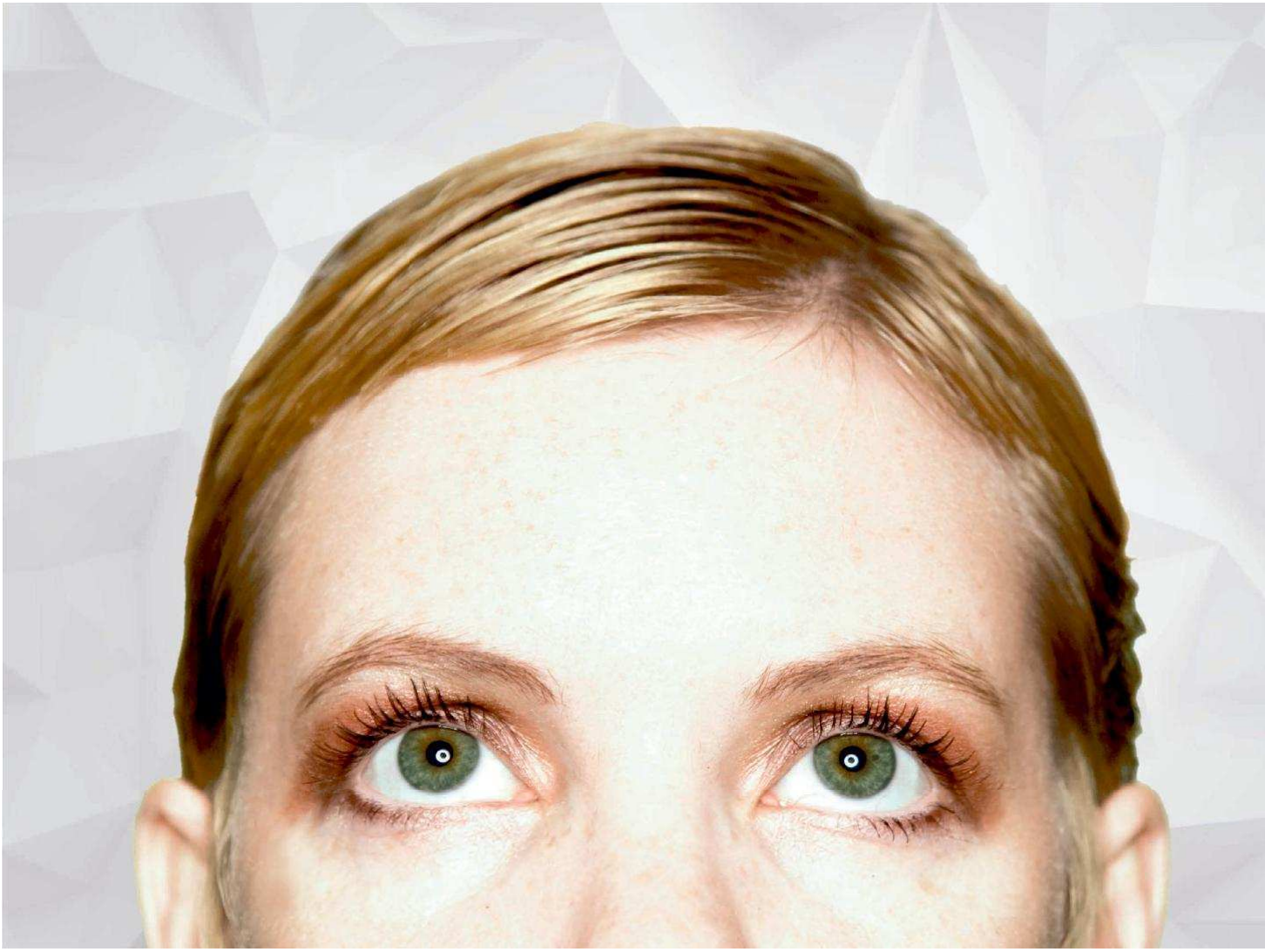
Catturare il Sole. Sotto e a fronte vetrocamere ideate e prodotte da Glass to Power, che potrebbero rivestire facciate continue a vetri.

PonyWang/iStock (*palazzo di vetro*)

ne agganciata al sistema dell'edificio o a batterie in loco. Il cuore pulsante della tecnologia sono le particelle prodotte direttamente dall'azienda – e che presto saranno prodotte in grande quantità nello stabilimento di Rovereto – all'interno di compositi in plexiglass, lastre che a loro volta vengono incapsulate nella vetrocamera. «La produzione del composito che contiene le nanoparticelle avviene per via chimica, non si tratta di un assemblaggio», spiega Brovelli. «Ed è proprio questa la difficoltà e la nostra forza. Nessuno al mondo riesce a fare quello che facciamo noi».

L'obiettivo a cui Glass to Power vuole arrivare è un'efficienza di 50 watt a metro quadro su una finestra trasparente al 50 per cento, cioè sfruttando solo metà della luce che incide sulla finestra: raggiungere questo obiettivo vorrebbe dire rendere una finestra di 1 metro quadro capace di produrre un terzo dell'energia che attualmente è prodotta da un pannello fotovoltaico delle stesse dimensioni, che però è completamente opaco. «Con il vantaggio che le finestre, lasciando passare in parte la luce, possono essere usate lungo tutte le facciate degli edifici mentre per i pannelli si può sfruttare solo il tetto», sottolinea Brovelli.

«Il sogno è usare superfici energeticamente morte, come sono ora le facciate continue a vetri, e convertirle in spazi attivi, con cui soddisfare i bisogni energetici degli edifici». Un sogno ambizioso che fino a sei anni fa era chiuso in un laboratorio e che oggi sembra concreto, pronto ad affacciarsi sul mercato. «La nostra storia è un esempio chiaro di quanto sia importante la ricerca di base. L'idea che ha portato al nostro prodotto è innanzitutto un'astrazione a partire da dati di laboratorio. Senza questo lavoro nessuna innovazione è possibile», conclude Brovelli. Poi ci vogliono intuito e capacità di cogliere le occasioni.



Women are underrepresented in academic leadership positions. And yet there is a lack of adequate instruments available to help find suitable, excellent women researchers quickly.

AcademiaNet is a database containing the profiles of over 2,700 outstanding women researchers from all disciplines.

The aim of our search portal is to make it easier to find female academics to fill leading positions and to sit on executive committees.

The partners

Robert Bosch Stiftung

Spektrum der Wissenschaft

nature

di Telmo Pievani
è professore ordinario di filosofia delle scienze biologiche dell'Università degli Studi di Padova

L'uomo che voleva volare

Il senso della tragica impresa di Franz Reichelt che sperimentò il volo umano

Lo chiamavano il sarto volante. Di origini viennesi come i suoi baffoni, aveva aperto nel 1898 una piccola *boutique* a Parigi. Gli affari non andavano male. Con il passare degli anni, la sua vera passione divenne però un'altra: volare. Non con gli aerei, ma con tute alari *ante litteram*.

Già dal Settecento girava l'idea che l'apertura di un apposito telo attaccato alle braccia potesse simulare le ali degli uccelli e garantire una planata sicura. Dal 1910, per Franz Reichelt questa divenne un'ossessione. Cominciò a lanciare manichini dall'ultimo piano di casa, ma il proto-paracadute non voleva saperne di funzionare. Il dispositivo era pesante e il telaio troppo fragile per frenare la caduta di un corpo. Allora lo perfezionò e cominciò a provarlo su se stesso, lanciandosi sopra montagne di fieno. Niente, non si apriva in tempo. Tutti gli esperti di aerodinamica di Parigi gli consigliarono di soprassedere, ma Reichelt ci credeva. Voleva diventare famoso come il primo uomo volante. Si rimise al lavoro e giunse a un prototipo di soli nove chilogrammi con un'apertura alare di ben 30 metri quadri. Questo secondo i suoi calcoli doveva funzionare, ma lanciandosi dalla giusta altezza in modo da lasciare il tempo alla tuta di aprirsi.

Fu allora che chiese di effettuare un test del suo paracadute dalla Tour Eiffel. Convocò la stampa il 4 febbraio 1912 alle sette del mattino. Salì con il suo marchingegno fino alla prima piattaforma della torre. Tutti pensarono, polizia compresa, che avrebbe gettato un manichino, invece si presentò con indosso una goffa tuta più da pipistrello che da Icaro. Una volta comprese le sue reali intenzioni, in molti cercarono di dissuaderlo, invano. Reichelt schivò la guardia e salì sulla balaustra dicendo che avrebbe tentato lui stesso l'esperimento, senza trucchi.

E in effetti di trucchi non ce n'erano, purtroppo. Dopo un paio di minuti di esitante concentrazione, sorridente, Franz lanciò i suoi 62 chilogrammi giù per 60 metri verso il suolo ghiacciato. La tuta si sfilacciò e in un attimo le sue membra si schiantarono con un gran botto sordo in quella gelida domenica mattina. Morto sul colpo. Su YouTube si può vedere il filmato in bianco e nero che documenta l'incosciente impresa. Si stenta a credere che sia vero. I suoi amici erano positivisti: al termine del filmato si vedono due mani che misurano la profondità della buca lasciata dal corpo.

Reichelt aveva fiducia nella scienza, pure troppa. Ha sbagliato i calcoli. Molti altri si sono lanciati inseguendo un'invenzione. I materiali evolvono e oggi, un secolo dopo il suo tragico volo, abbiamo paracaduti, deltaplani e tute volanti. Fa impressione paragonare la sete di conoscenza e la voglia di progresso di Reichelt con la crescente sfiducia che oggi una porzione sempre più ampia della popolazione nutre nei confronti della scienza, delle competenze, dell'autorevolezza, e delle istituzioni che le rappresentano.

Fa ancora più impressione constatare come nella patria di Galileo le decisioni politiche siano ormai prese ignorando completamente le prove scientifiche su un dato argomento, dai vaccini alle migrazioni. Così, ci si lascia quasi prendere da una commossa gratitudine quando il Presidente della Repubblica, voce isolata, ai primi di settembre ad Ariano Irpino ha denunciato l'indifferenza e la diffidenza verso le affermazioni e i risultati della scienza, ribadendo ciò che nessuna forza politica italiana, nessuna su tutto l'arco costituzionale, dice e mette in pratica, e cioè che la ricerca scientifica è un fronte prioritario per il paese e che dobbiamo essere riconoscenti verso la scienza.

L'incuria italiana verso la scienza non è più solo un problema politico, è diventata una questione morale. Reichelt aveva troppa fiducia nella scienza, noi l'abbiamo persa. Adesso dalla Tour Eiffel non si possono più fare esperimenti. Si fanno altrove, e il futuro è tutto dalla parte di chi vorrà scommettere negli slanci della ricerca.

Notizia luttuosa. Illustrazione d'epoca sul lancio mortale di Reichelt pubblicata il 18 febbraio 1912 su «Le Petit Journal».

Leemage/UIG via Getty Images

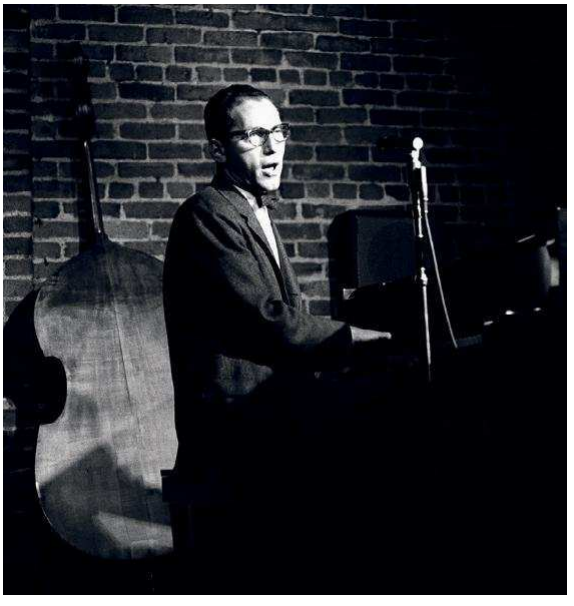
di Piergiorgio Odifreddi
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

Concerto di matematica

Ritratto di Tom Lehrer, matematico, cantautore e pianista di successo

Alla fine di un corso di fisica del semestre autunnale del 1950 a Harvard, il professore annunciò che l'ultima lezione sarebbe stata un ripasso per l'esame. Con gran sorpresa degli studenti, però, l'evento fu invece un concerto di canzoni ispirate alla fisica e alla matematica, scritte e interpretate da Tom Lehrer, che allora era appunto un dottorando in matematica a Harvard. La notizia ovviamente si sparse veloce nel campus: il concerto dovette essere bissato pochi giorni dopo, e venne ripetuto anche l'anno seguente.

Il titolo dell'evento era *The physical review*, come l'antica e prestigiosa rivista di articoli scientifici: un doppio senso basato sull'ambiguità del termine review, che significa sia «ripasso» sia «rivista». Oggi se ne trova in rete la registrazione, effettuata da Norman Ramsey: un professore di fisica già famoso all'epoca, per aver partecipato al progetto Manhattan di Los Alamos per la costruzione della bomba atomica ed esser stato allievo del premio Nobel per la fisica Isidor Rabi. Nel 1989 Ramsey avrebbe vinto lui stesso il premio Nobel per la fisica, per il suo lavoro sugli orologi atomici.



Al pianoforte. Tom Lehrer in concerto in un locale di San Francisco, in California, negli anni cinquanta.

La canzone più famosa del concerto, da allora imitata in varie lingue e con vari strumenti, è sicuramente *Gli elementi*. La musica è quella del brano *La canzone del maggior generale moderno* (*I Am the Very Model of a Modern Major-General*), tratto dall'opera del 1879 *I pirati di Penzance* di Gilbert e Sullivan: un brano già molto noto per conto suo, perché si trattava di un impossibile scioglilingua che, fra le altre cose, parlava anche di matematica, dal teorema di Pitagora al calcolo integrale, passando per le equazioni quadratiche e le coniche. Lehrer mantenne le note ma cambiò le parole, e con un pezzo di bravura non usò nient'altro che i nomi degli elementi chimici: per questo, oggi la canzone è usata nelle scuole anglosassoni come espediente mnemonico per ricordare la tavola periodica.

Altre canzoni giocavano sulla competizione fra gli studenti di fisica e di altre facoltà, come le generiche *Non laurearti in fisica* (*Don't Major in Physics*) o *Viva la chimica* (*Hail Chemistry*). O la specifica *Fuga per scienziati* (*Fugue for Scientists*), in cui lo stesso tema viene ripetuto in maniera contrappuntistica da un matematico, un fisico e un chimico, ciascuno dei quali rivendica però il predominio della propria disciplina sulle altre, oltre che il proprio ruolo fondamentale nella costruzione della bomba atomica.

Alcuni brani parlavano di matematica, musicando formule e teoremi. *Canzone derivata* (*The Derivative Song*), per esempio, si ispirava appunto alla classica definizione di derivata come rapporto incrementale: «Prendi una funzione di x e chiamala y. Prendi un x che vuoi verificare, effettua un piccolo cambiamento e chiamalo Δx. Trova poi il corrispondente cambiamento Δy. Infine fai il quoziente, e con attenzione manda Δx a zero. E allora, se tutto funziona, il limite non ti dà altro che ciò che chiamiamo dy/dx».

C'è un δ *per ogni* ε (*There's a Delta for Every Epsilon*) invece, riprendeva la formulazione di Weierstrass della continuità, che per due secoli ha fatto venire gli incubi a molti studenti di calcolo infinitesimale: «C'è un δ per ogni ε, ci puoi contare, ma c'è una condizione da soddisfare: ε dev'essere positivo, qualunque altro è cattivo, non c'è nessun δ per lui. Che triste, crudele, tragico, penoso: questo razzismo non è virtuoso, va eliminato con un calcolo illuminato, dove ogni ε ha un δ per sé».

Di qualche anno dopo è *Nuova matematica* (*New Math*), che mette alla berlina l'insegnamento moderno nelle scuole inferiori e superiori, mostrando la differenza tra come si sottraeva 173 da 342 una volta, trovando il risultato corretto, e come li si sottrae ora, magari sbagliando, ma consolandosi con il fatto che «l'importante è l'idea». Il graffio finale è il calcolo del risultato in base 8, che «è come la base 10 se ti mancano due dita»: per la cronaca, il risultato è 147.

Il successo del suo primo concerto rese celebre Lehrer, che per qualche anno si divertì a comporre geniali canzoni satiriche, soprattutto su argomenti sociali e politici. Incise un paio di dischi in studio e un paio di album dal vivo, ma agli inizi degli anni settanta si ritirò per tornare all'accademia. Pur non avendo mai finito il dottorato in matematica, fino al 2001 fece ricerca nel laboratorio di Los Alamos e insegnò al Massachusetts Institute of Technology e all'Università della California. Oggi, a novant'anni compiuti ad aprile, viene ricordato soprattutto per le sue performance musicali, che si trovano con facilità su YouTube.

Ted Streshinsky/CORBIS/Corbis/Getty Images

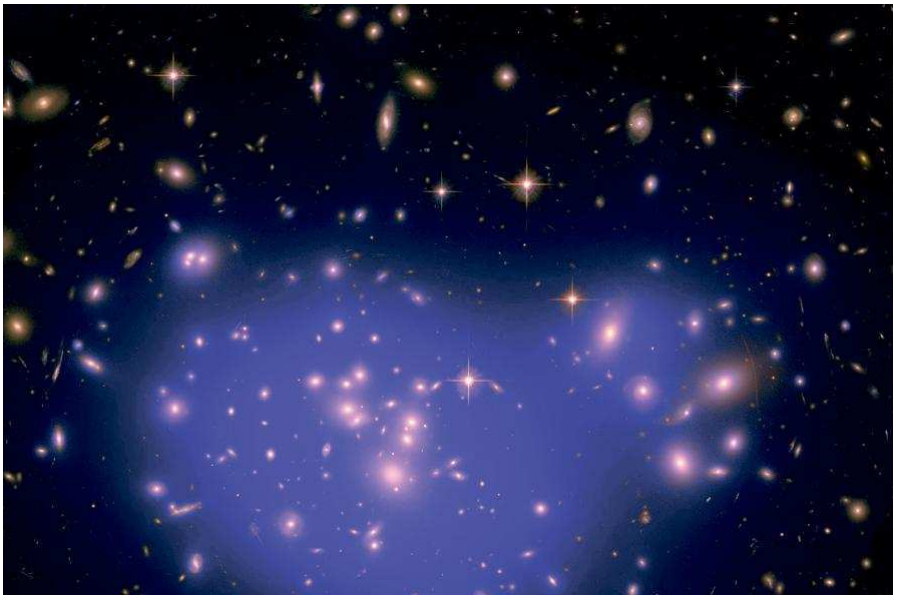
di Amedeo Balbi
Professore associato di astronomia e astrofisica presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma «Tor Vergata». Il suo ultimo libro è *Dove sono tutti quanti?* (Rizzoli, 2016)

Omaggio a Georges Lemaître

La legge sull'espansione dell'universo avrà anche il nome dell'astronomo belga

Non credo ci sia bisogno di ricordare ai lettori di questa rubrica che l'universo si espande, e che la legge che descrive l'espansione porta il nome dell'astronomo statunitense Edwin Hubble. Bene, molto probabilmente bisognerà d'ora in poi abituarsi a un cambiamento importante: non dell'espansione, che resta uno dei pilastri della cosmologia moderna, ma del nome della legge. Il 30 agosto scorso, infatti, la XXX assemblea generale dell'Unione astronomica internazionale (IAU), riunita a Vienna, ha approvato la risoluzione B4, che suggerisce di riferirsi alla legge di espansione come «legge di Hubble-Lemaître». La decisione finale spetta ora a tutti i membri dell'IAU, che dovranno votare la risoluzione entro la fine dell'anno.

La storia che c'è dietro il (possibile) cambio di denominazione è interessante, e non molto nota in tutti i dettagli, anche fra gli addetti ai lavori. Nel 1927, il fisico e astronomo belga Georges Lemaître (che era anche un sacerdote gesuita) pubblicò un lavoro intitolato *Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extragalactiques* (ovvero, «Un universo omogeneo di massa costante e di raggio crescente rende conto della velocità radiale delle nebulose extragalattiche»). Nel lavoro, Lemaître applicava la teoria generale della relatività di Einstein all'intero universo, prevedendone l'espansione. Non solo, ma mostrava che l'espansione era descritta da una legge matematica, in ottimo accordo con i dati esistenti sullo spostamento verso il rosso delle galassie (all'epoca chiamate ancora «nebulose extragalattiche»).



L'articolo in cui Lemaître affermò che la velocità di allontanamento delle galassie è proporzionale alla loro distanza da noi passò quasi inosservato (*Foto*: il cluster Abell 1689).

La legge affermava che la velocità di allontanamento delle galassie era proporzionale alla loro distanza da noi. Suona familiare? Dovrebbe, perché questa legge lineare tra velocità e distanza è proprio quella che abbiamo sempre chiamato legge di Hubble. Solo che Hubble la pubblicò per la prima volta due anni dopo Lemaître, nel 1929. Peraltro, si sa che nel 1928 Lemaître aveva discusso i suoi risultati con Hubble, proprio in un'assemblea della IAU. Anche Einstein conosceva il lavoro dello scienziato-sacerdote, ma lo riteneva infondato dal punto di vista fisico. Nel 1931 Hubble pubblicò un altro articolo sulla relazione distanza-velocità, contenente nuove osservazioni, e da lì in poi la legge prese il suo nome.

Oggi non c'è dubbio che la previsione di Lemaître fosse corretta, e precedente al lavoro di Hubble. Ma allora perché Lemaître non ha avuto la priorità della scoperta? Intanto, perché il lavoro originale, pubblicato in francese su una rivista di scarsa diffusione, passò per lo più inosservato. Ma c'è un dettaglio in più, rimasto misterioso fino a qualche anno fa.

Nel 1931, su interessamento di Arthur Eddington (che era stato supervisore di dottorato di Lemaître a Cambridge), la rivista «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society» pubblicò la traduzione inglese del lavoro di Lemaître del 1927. Dalla traduzione era però assente proprio la parte con la derivazione della legge di espansione, cosa che per un certo tempo ha alimentato sospetti di «censura» nei confronti di Lemaître da parte di Hubble e del mondo scientifico anglosassone.

Nel 2011, l'astronomo Mario Livio è riuscito a mettere le mani sulla corrispondenza tra Lemaître e la rivista, e ha scoperto che era stato lo stesso Lemaître a omettere il testo incriminato, ritenendolo poco interessante: probabilmente, Lemaître credeva che, dal momento che Hubble aveva pubblicato uno studio contenente osservazioni migliori, i suoi risultati fossero superati. Una modestia decisamente d'altri tempi. Anche per questo, oltre che per la sua indubbia levatura scientifica, Lemaître meriterebbe finalmente il riconoscimento che gli è dovuto.

NASA/ESA/JPL-Caltech/Yale/CNRS

di Giorgio Manzi
Insegna paleoantropologia presso il Dipartimento di biologia ambientale dell'Università «La Sapienza» di Roma, dove dirige il Museo di antropologia «Giuseppe Sergi»

Figlia del Pleistocene

Estratto il DNA dell'ibrido da un frammento d'osso scoperto nella grotta di Denisova

Sorprendente! Non è chiaro se i miei colleghi del Max Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie di Lipsia, in Germania, siano più bravi come ricercatori o più fortunati come scopritori, come qualcuno di loro ha affermato. Possono comunque essere entrambe qualità degli autori (fra cui due giovani italiani) dell'articolo pubblicato a fine agosto su «Nature», ampiamente riecheggiato da giornali e siti web di notizie. Sta di fatto che l'ormai mitico Svante Pääbo e i suoi hanno scoperto un ibrido di prima generazione (ovvero un figlio, anzi figlia) di mamma Neanderthal e papà Denisoviano; e di quest'ultimo hanno addirittura individuato almeno un/una Neanderthal fra i trisavoli.

Davvero sorprendente. È inconsueta, per non dire quasi unica nell'attuale scenario internazionale, sia questa manifesta e formidabile capacità di analisi paleogenetica sia la rarità di una scoperta del genere. Non ci soffermeremo in questa rubrica su materiali, metodi e risultati della ricerca (basta dare una rapida occhiata su Internet), diremo invece di alcuni aspetti interpretativi che ne derivano.

I nostri lettori sanno bene chi siano i Neanderthal e i Denisoviani, ma facciamo il punto. Queste due specie umane estinte popolarono l'Eurasia fino a quando le popolazioni di *Homo sapiens* si diffusero dall'Africa e divennero le padrone incontrastate della scena (ecologica) via via dell'intero pianeta; allora, intorno a 40.000 anni fa, entrambe si estinsero. Precedentemente i Neanderthal erano distribuiti in tutta Europa, ma si erano anche estesi in Vicino Oriente, in Siberia e in altre regioni asiatiche a ovest dell'Himalaya, del Tibet e degli altopiani mongoli. I Denisoviani, invece, sono stati trovati solo nella grotta omonima (Denisova Cave) sui monti Altai, al confine fra Siberia e Mongolia, ma ci sono elementi per poter ritenere che popolassero larga parte dell'Asia continentale (forse con eccezione dell'area indonesiana, dove ancora potevano esserci gli ultimi *H. erectus* e i piccoli *H. floresiensis*).

Ricostruzione dell'adolescente nata circa 90.000 anni fa da una madre Neanderthal e da un padre Denisova. Quando è morta questa giovane aveva circa 13 anni.

Pertanto, se si guarda una carta geografica, ci si accorge facilmente che proprio i monti Altai si trovano al contatto fra i due areali: una zona dove due specie sorelle (ovvero separatesi di recente) possono ibridarsi. Molti esempi fra le specie viventi, anche di primati, ce lo mostrano con chiarezza; se la loro diversità genetica non è troppo profonda, gli ibridi possono risultare fertili e trasmettere DNA alle generazioni successive, portando a una quota di flusso genico fra le due specie.

Questo è il quadro che rende possibile la scoperta di Pääbo e i suoi. D'altra parte, già altri dati (ottenuti dallo stesso gruppo di ricerca) avevano indicato la possibilità di ibridazioni fra le due specie, fra queste e i primi *H. sapiens* in diffusione, fra i Denisoviani e un misterioso altro *unknown archaic hominin* (ominino arcaico sconosciuto) che possiamo azzardare fosse *H. erectus*.

In sintesi, in questa fase dell'evoluzione umana le ibridazioni interspecifiche sembrano essere state la regola, piuttosto che l'eccezione. Evidentemente, gli eventi di speciazione che avevano prodotto la diversità del tardo Pleistocene non erano stati abbastanza remoti da creare barriere genetiche tali da inibire la formazione di ibridi, sia pure occasionali e in aree geografiche di confine (e/o di primo contatto) fra le specie. Tutto questo ha un notevole impatto sul DNA nucleare. Il DNA mitocondriale, invece, è esente da queste contaminazioni, anche se più esiguo. Come sappiamo, è ereditato solo dalla madre e, pertanto, segue nitide traiettorie filogenetiche.

Allora, io continuo a domandarmi perché da alcuni anni Pääbo e i suoi si ostinino a usare il DNA nucleare per fare le filogenesi, arrivando alla conclusione che Neanderthal e Denisoviani fossero strettamente imparentati.

Lo credo. Non per filogenesi però, ma per ripetute ibridazioni.

John Bavaro Fine Art/SPL/AGF

AGRICOLTURA

Un futuro a rischio alimentare

Insetti e riscaldamento globale aumenteranno le perdite di grano, riso e mais

Pronti a mangiare. Con l'aumento della temperatura media della Terra, aumenterà anche il tasso metabolico degli insetti, e quindi il loro appetito, con un ulteriore incremento dei danni che già provocano ai raccolti.

Non solo l'umanità faticherà di più a procurarsi il cibo, ma anche a ricavarne i nutrienti di cui ha bisogno. Lo mostrano due studi sulle conseguenze globali del cambiamento climatico per le colture alimentari.

Il primo riguarda le rese di tre pilastri dell'alimentazione umana, ovvero grano, riso e mais. E ci dice che, in aggiunta alle perdite previste per eventi come siccità e alluvioni, aumenteranno a dismisura anche le distruzioni dovute agli insetti.

Curtis Deutsch, dell'Università di Washington a Seattle, già da anni aveva lanciato l'allarme: con le temperature cresce anche il tasso metabolico degli insetti, che quindi divengono più famelici. Ora ha costruito un modello che, per la prima volta, considera su scala planetaria come cambieranno gli attacchi dei principali insetti parassiti alle tre colture. E su «Science» conclude che, per ogni grado in più di riscaldamento, le perdite aumenteranno fra il 10 e il 25 per cento.

Il peggio si avrà nelle aree temperate, che producono il grosso dei tre alimenti, perché qui aumenterà non solo il tasso metabolico degli insetti ma anche il loro numero. Nei paesi più caldi, invece, le temperature eccessive limiteranno l'esplosione demografica frenando l'aumento dei danni.

Deutsch stesso ammette che il modello non considera parecchie specie di parassiti su cui i dati sono insufficienti, né effetti come la risposta al clima dei predatori o i cambiamenti delle pratiche agricole, che potrebbero arginare i danni. Nondimeno, lo studio segnala l'urgenza di misure di adattamento più spinte di quelle in atto, che rischieranno però di creare altri problemi: «Nelle colture intensive potrà crescere l'uso di pesticidi, con i relativi costi ambientali e sanitari e il rischio di resistenze».

Se non bastasse, con l'aumento dell'anidride carbonica atmosferica oltre le 550 parti per milione (attualmente siamo poco oltre 400) calerà in modo preoccupante il contenuto di proteine, zinco e ferro. Lo mostrano su «Nature Climate Change» Matthew Smith e Samuel Myers, della Harvard University.

Anche questo effetto era già noto, ma i due studiosi ne hanno calcolato l'impatto sulla nutrizione dell'intera umanità, distinguendo per aree geografiche e per fasce di popolazione. In molte colture fondamentali il contenuto dei tre nutrienti calerà fra il 3 e il 17 per cento. La differenza può sembrare piccola ma – se le abitudini alimentari resteranno quelle odierne – ciò farà aumentare le persone con deficit di ferro di 175 milioni e quelle con deficit proteici di 122 milioni. «Ma il danno più grave sarà un altro: nei gruppi che già oggi ne soffrono in forma lieve, questi deficit diverranno moderati o gravi, e sono queste le condizioni che causano il grosso dei danni alla salute».

Giovanni Sabato

ruvanboshoff/iStock

FISICA

La meccanica quantistica per i quasar

Un esperimento con queste sorgenti celesti di luce ha verificato il fenomeno dell'entanglement

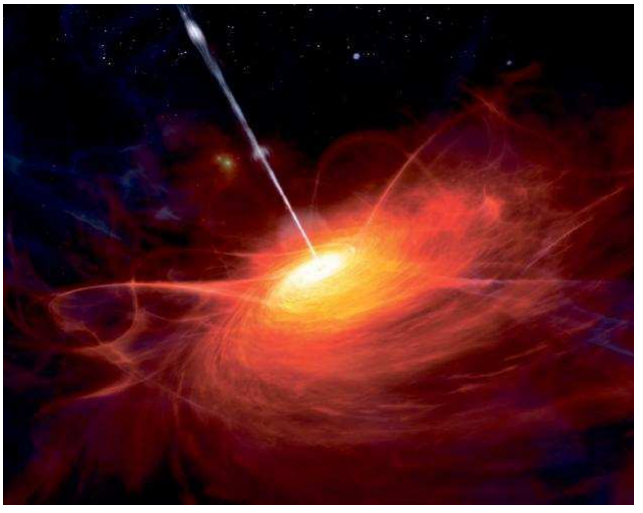
Usare la luce dei quasar per testare la validità della meccanica quantistica: è l'esperimento realizzato da un gruppo guidato da Anton Zeilinger, dell'Accademia austriaca delle scienze, che ha pubblicato i risultati su «Physical Review Letters».

L'obiettivo del team era studiare la correlazione quantistica, o *entanglement* (letteralmente intreccio), fra fotoni sfruttando due quasar lontani, distanti rispettivamente 8 e 12 miliardi di anni luce dalla Terra, come generatori di numeri casuali.

Secondo la meccanica quantistica, in determinate circostanze, un insieme di particelle può comportarsi come se fosse un unico sistema quantistico, non più descrivibile separatamente. In questo caso si dice che le particelle sono *entangled*. Una misurazione effettuata su una particella di un sistema in entanglement ha un effetto immediato sullo stato di tutte le altre, indipendentemente dalla distanza a cui si trovano le une dalle altre.

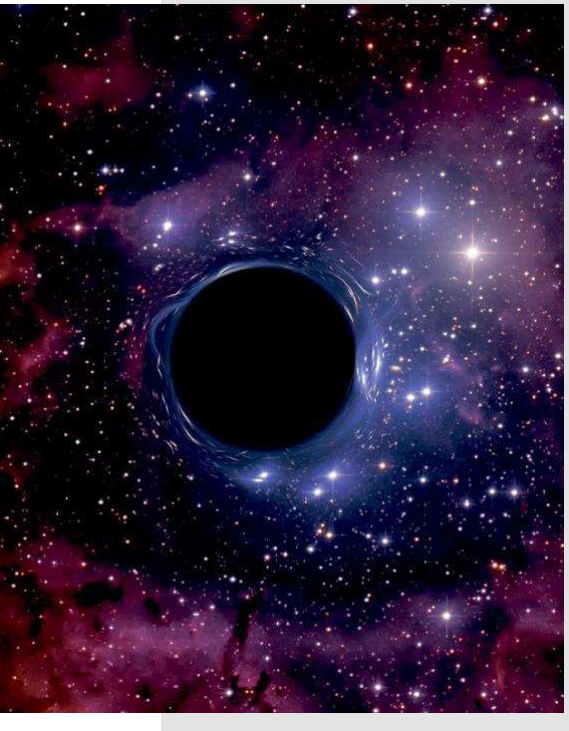
Per verificare l'entanglement, è fondamentale che le misurazioni sulle particelle entangled siano indipendenti, ovvero che non siano influenzate da una stessa causa. Ecco perché Zeilinger e collaboratori si sono affidati alla variabilità della luce dei quasar. La loro distanza reciproca garantisce infatti che la probabilità che queste due sorgenti abbiano subito un'influenza comune sia molto bassa (pari al quattro per cento nell'universo conosciuto).

Così, i ricercatori hanno approntato un laboratorio sull'isola di La Palma, alle Canarie, dove si trovano i due strumenti impiegati nell'esperimento: il telescopio nazionale Galileo, dell'Istituto nazionale di astrofisica, e il britannico William Herschel Telescope.



In pratica, a ciascuno dei due telescopi veniva inviato uno dei due fotoni della coppia correlata e alla variabilità della luce dei quasar lontani veniva fatto «decidere» – in maniera casuale e indipendente dagli sperimentatori e dall'ambiente – il tipo di misurazione di polarizzazione da compiere su quei fotoni. Gli esiti sono stati che l'entanglement è verificato e che i quasar possono effettivamente essere usati per la generazione di numeri casuali.

Emiliano Ricci



SPL/AGF (*illustrazione quasar*); gmutlu/iStock (*illustrazione buco nero*)

Un nuovo modo per trovare i buchi neri

Da qualche tempo gli astrofisici hanno un nuovo modo per rilevare un buco nero: l'osservazione degli eventi di distruzione mareale, o TDE (*tidal disruption events*).

I ricercatori chiamano TDE gli eventi in cui una stella passa a così poca distanza da un buco nero da venire squassata dalle sue forze di marea. In pratica, la differenza fra l'attrazione gravitazionale che il buco nero esercita sulla zona vicina della stella e su quella lontana allunga e spezza l'astro in un processo chiamato «spaghettificazione». Di recente sono stati pubblicati due studi, uno su «Nature Astronomy», diretto da Dacheng Lin della statunitense Università del New Hampshire a Durham, l'altro su «Science», diretto da Seppo Mattila dell'Università di Turku, in Finlandia, che fanno luce su questo tipo di eventi, la cui statistica è ancora piuttosto bassa (ne sono stati osservati solo una ventina in tutto). In entrambi i casi, a far propendere i ricercatori per l'opzione TDE piuttosto che per altre è l'osservazione di lampi ultra luminosi: ovvero la brevità dell'evento, associata a un'estrema luminosità. Fu il cosmologo britannico Martin Rees, nel 1988, a descrivere teoricamente un evento del genere e a capire che l'esito sarebbe stato un lampo breve e intenso, e non un bagliore costante.

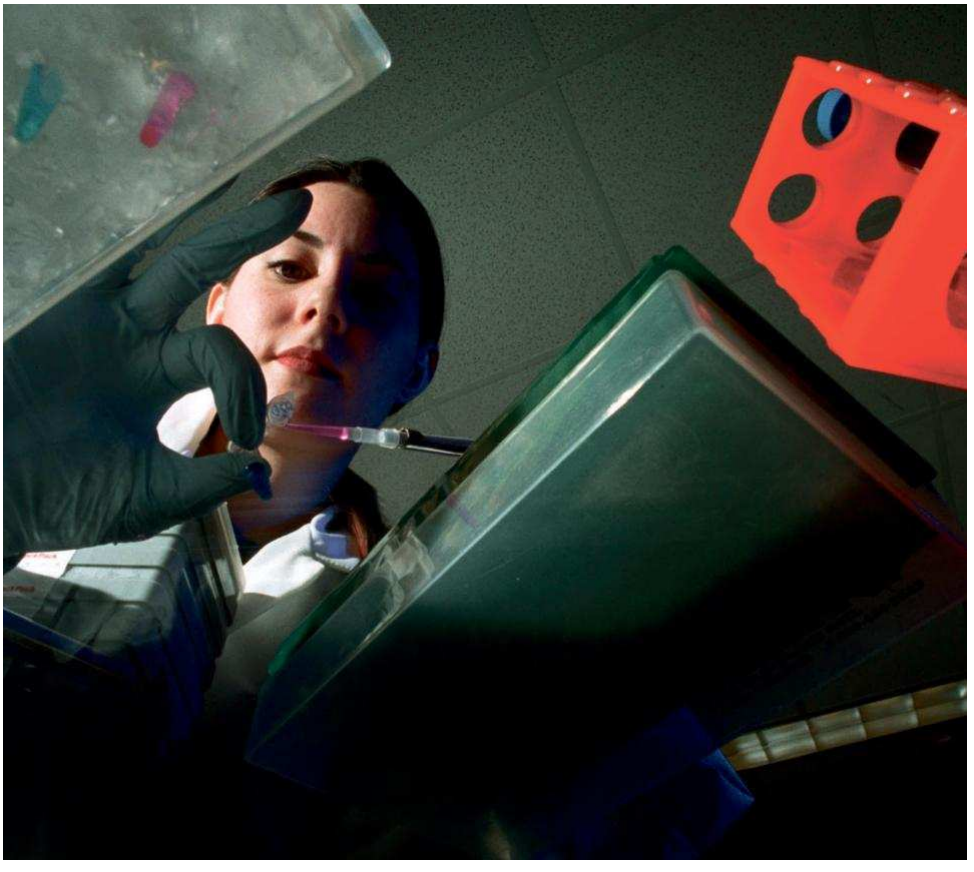
Le due ricerche citate possono aiutarci a capire ancora meglio questi fenomeni, che, nonostante i meccanismi fisici coinvolti siano noti, sfuggono a una facile classificazione. I TDE si presentano con caratteristiche disomogenee, talvolta come lampi nei raggi X, altre volte in luce ultravioletta, con intensità varie. Un modello pubblicato pochi mesi fa spiega questo comportamento con la diversa geometria di osservazione da terra di questi lampi. In pratica, a seconda dell'angolazione da cui li osserviamo, si manifestano a noi in varie maniere. Coi TDE gli astrofisici sperano di confermare una volta per tutte l'esistenza dei buchi neri di massa intermedia e di testare ulteriormente la relatività generale. Nuovi strumenti per cacciare i TDE stanno per entrare in gioco. Non resta che attendere.

Emiliano Ricci

MEDICINA

La prima terapia con RNA

Dopo ripensamenti e fallimenti arriva sul mercato una cura che sfrutta l'RNA per silenziare geni



Jim Rankin/Toronto Sta/Getty Images

Dopo vent'anni di ricerche, fallimenti e cambi di rotta, ad agosto è finalmente arrivato il primo successo. Le autorità statunitensi ed europee hanno approvato la messa in commercio della prima terapia che spegne l'attività di un gene iniettando nell'organismo uno specifico RNA a doppia elica che promuove la degradazione del messaggero, riducendo la sintesi della proteina.

Il fenomeno – il silenziamento genico tramite interferenza a RNA – è stato scoperto nel 1998 e nel 2006 è valso il Nobel per la medicina o la fisiologia a due degli scopritori, anche per le sue potenzialità terapeutiche, poiché in teoria permette di spegnere in modo mirato un qualsiasi gene alla base di una malattia. Tradurre in pratica questa possibilità, recapitando gli RNA terapeutici nelle cellule bersaglio senza che si degradino o siano eliminati dall'organismo, si è rivelato però molto complicato. Per questo motivo, dopo gli entusiasmi iniziali, molte grandi aziende hanno abbandonato il settore.

Una scelta però non seguita da Alnylam, la piccola azienda del Massachusetts che ora ha vinto la sua scommessa portando sul mercato il patisiran: un farmaco contro una malattia rara, l'amiloidosi ereditaria da accumulo di transtiretina (amiloidosi hATTR), e in particolare contro la neuropatia che colpisce i malati con conseguenze gravi su qualità e durata della vita. Le ultime sperimentazioni, pubblicate a luglio sul «New England Journal of Medicine», hanno coinvolto anche tre centri italiani a Roma, Messina e Pavia.

Oltre ad aiutare le 50.000 persone al mondo che si stima abbiano questa malattia, le cui terapie erano finora insoddisfacenti, l'approvazione ridà fiato alle ricerche di Alnylam e di altre aziende, inclusi alcuni grandi nomi del settore, per affrontare con questa nuova classe di farmaci anche malattie comuni come la fibrosi cistica e alcune patologie neurodegenerative. Le tecnologie per recapitare l'RNA nelle cellule potrebbero inoltre aiutare lo sviluppo delle future terapie basate sulla tecnica CRISPR, in cui si modifica un gene usando, fra gli altri strumenti, l'RNA.

Giovanni Sabato

Dai batteri un aiuto per le trasfusioni?

I primi tentativi risalgono agli anni ottanta e sono proseguiti con poco successo sino a oggi, quando al recente incontro dell'American Chemical Society, Stephen Withers della canadese Università della British Columbia ha affermato di aver trovato un modo efficace per trasformare i gruppi sanguigni A, B e AB in 0. Se così fosse (non c'è ancora uno studio pubblicato) avremmo risolto il problema delle trasfusioni: il gruppo 0 può essere donato a tutti gli esseri umani perché, al contrario dei gruppi A e B, sulla superficie dei globuli rossi non ci sono antigeni (zuccheri) che sono riconosciuti come estranei dal sistema immunitario di chi ha un diverso gruppo sanguigno. L'asso nella manica di Withers sono enzimi prodotti da batteri intestinali individuati prelevando e trascrivendo tutto il DNA contenuto in campioni fecali. Rispetto ad altre proteine, questi enzimi sarebbero 30 volte più efficaci nel rimuovere gli antigeni. Sono così bravi perché è il loro lavoro: i batteri li usano per staccare le glicoproteine di cui si nutrono dalle pareti dell'intestino, glicoproteine che hanno una struttura simile agli antigeni. Se lo studio passerà la *peer-review* si proseguirà nella sperimentazione, ricordando che per avere un sangue davvero universale bisogna rimuovere anche l'antigene Rh.

Martina Saporiti

SCIENZE DELLA TERRA

Nell'occhio del ciclone

Uno studio sfata il mito della calma che regnerebbe nelle regioni centrali di uragani e tifoni

I cicloni tropicali – chiamati uragani nell'Oceano Atlantico e tifoni nel Pacifico – sono enormi strutture vorticose di centinaia di chilometri di diametro, caratterizzate da convezione forte, nubi temporalesche molto estese in verticale, venti di grande intensità e piogge estremamente violente. Al loro interno, tuttavia, si trova una zona di pressione molto bassa con assenza di nubi (l'occhio del ciclone), in cui vi sarebbe una calma surreale. Ma è proprio così?

Durante l'uragano Hugo, nel settembre 1989, un aereo militare che lo attraversò riportò prove di vortici più piccoli (tornado) che si sarebbero formati vicino al suolo al limite dell'occhio del ciclone. Era un evento isolato e particolare, o la fisica del sistema permette, o forse richiede, che ci siano fenomeni di questo tipo?

A questa domanda hanno cercato di rispondere Liguang Wu e collaboratori, dell'Università cinese di Nanjing. Nel loro studio, pubblicato recentemente su «Proceedings of the National Academy of Sciences», gli autori hanno analizzato la fisica dei cicloni tropicali con un modello molto usato dalla comunità scientifica (il Weather Research and Forecasting, o WRF), spinto ora ad altissima risoluzione (circa 37 metri) e con una trattazione più accurata della fisica che descrive i bassi strati atmosferici.

I ricercatori hanno simulato dettagliatamente un generico ciclone tropicale e hanno evidenziato la formazione di vortici simili alle trombe d'aria e tornado, con un tempo di vita di qualche minuto. Essi si formano proprio al limite dell'occhio del ciclone e sembrano una caratteristica molto comune, in qualche modo richiesta dalla fisica di questi sistemi. Lo studio è ovviamente importante dal punto della comprensione fisica, ma ha una certa rilevanza anche per la previsione della intensità dell'evento, inclusi i danni che si possono riportare da questi tornado «inseriti» nel ciclone tropicale.

Infine, la ricerca di Wu e colleghi ha sfatato un po' il mito della calma a cui si assiste nell'occhio del ciclone. Come ha dimostrato lo studio, come ci si avvicina ai bordi del ciclone si assiste a tornado che possono arrecare già da soli gravi danni.

Antonello Pasini

Anche la plastica riscalda la Terra

Quella bottiglietta di plastica gettata in strada contribuisce a riscaldare la Terra. Il Sole, si scopre in uno studio pubblicato su «PLoS ONE», con la sua energia rompe le molecole dei polimeri di sintesi producendo i gas serra metano (CH_4) ed etilene (C_2H_4). Potrà non sorprendere, essendo un derivato del petrolio la plastica è fatta di carbonio e idrogeno, tuttavia è la prima volta che si dimostra il collegamento esperimenti alla mano.

Per 212 giorni, ricercatori dell'Università delle Hawaii diretti da Sarah-Jeanne Royer hanno lasciato al Sole pezzi di plastica di diverso tipo. Tutti liberano i gas serra, chi più come il polietilene (il polimero sintetico più diffuso, quello dei sacchetti) chi meno come il policarbonato (quello di CD e DVD). Anche le dimensioni contano: rispetto al pellet, i granuli di polietilene rilasciano 488 e 132 volte più metano ed etilene (i pezzi piccoli hanno un maggior rapporto superficie/volume che favorisce la «fuga dei gas»); una brutta notizia, perché significa che quando i rifiuti si frammentano inquinano di più. Le emissioni si verificano anche quando il polietilene è immerso nell'acqua, ma sono 2 e 76 volte più basse per metano ed etilene, rispettivamente. Una magra consolazione, considerando tutti i danni che la plastica sta facendo alla fauna degli oceani.

Martina Saporiti

Cortesia ESA/NASA–A. Gerst

Y&R

Oggi puoi leggere Le Scienze direttamente su iPad.

La nuova applicazione disponibile sull'edicola Newsstand di iPad.

Porta Le Scienze sempre con te. Scarica l'applicazione sul tuo iPad e sfoglia i migliori approfondimenti su scienza, tecnologia ed innovazione. Scegli l'abbonamento che preferisci e leggi la rivista in prova gratuita per 1 mese.

Le Scienze

BIOLOGIA MOLECOLARE

I due geni che regolano i sogni

La loro scoperta aiuterà ad approfondire la biochimica del sonno e le funzioni della fase REM

Si sapeva che il sonno è un'attività irrinunciabile per molti mammiferi: noi esseri umani trascorriamo circa un terzo della giornata dormendo e circa due ore ogni notte sognando. Tuttavia, quali fossero gli attori molecolari indispensabili a regolare il sonno REM (quello dei sogni) e il sonno non REM era ancora poco chiaro. Di recente, però, uno studio ha individuato due geni che ricoprono un ruolo essenziale nei meccanismi cerebrali dell'alternanza tra le fasi del sonno.

Alla base di questi meccanismi, sostengono i ricercatori che firmano l'articolo su «Cell Reports», ci sono *Chrm1* e *Chrm3*, i geni che codificano per due degli 11 recettori dell'acetilcolina. Questo neurotrasmettitore, il primo a essere scoperto nella storia delle neuroscienze, agisce nella comunicazione tra neurone e muscolo e tra neurone e neurone.

Studi precedenti avevano già dimostrato la funzione chiave dell'acetilcolina nella regolazione del sonno REM, senza tuttavia escludere che altri neurotrasmettitori potessero svolgere lo stesso compito. Hiroki Ueda, che dirige il Laboratorio di biologia sintetica al centro di ricerca RIKEN, in Giappone, e ricercatori di altre università, hanno invece realizzato un'estesa analisi genetica per dimostrare che, di tutte le proteine che ricevono il segnale mediato dall'acetilcolina, solo Chrm1 e Chrm3 sono necessarie per la regolazione del sonno.

Usando una variante innovativa del metodo CRISPR, la tecnica che ha rivoluzionato la genetica, gli scienziati hanno prima disattivato i geni *Chrm1* e *Chrm3* in un gruppo di topi, poi hanno studiato gli effetti di queste modifiche sul sonno, analizzando la respirazione degli animali e misurandone sia l'attività cerebrale sia quella muscolare.

I loro dati suggeriscono che, con elevata probabilità, l'azione combinata di questi geni serve a trasmettere da un centro all'altro del cervello il segnale nervoso che ci fa scivolare nel mondo dei sogni, perché nei topi studiati da Ueda e collaboratori il sonno REM si accorciava drasticamente, fino quasi a scomparire.

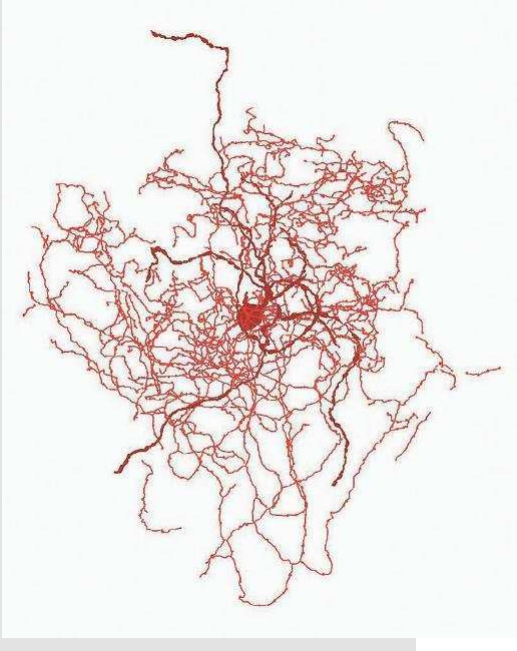
Sara Mohammad

Scoperto un nuovo tipo di neurone (forse) esclusivo dell'essere umano

Il gruppo che lo ha individuato lo ha battezzato *rosehip neuron* (*rosehip* in italiano è il falso frutto delle rose, che rimane quando i petali sono tutti caduti): si tratta di un tipo di cellula nervosa, appartenente alla categoria dei neuroni inibitori, mai osservato prima. Secondo gli autori della ricerca pubblicata su «Nature Neuroscience», ci sono buone possibilità che sia un neurone presente solo nell'essere umano. Il gruppo guidato da Ed Lein, dell'Allen Institute for Brain Science di Seattle, negli Stati Uniti, e da Gábor Tamás, dell'Università di Szeged, in Ungheria, ha infatti dimostrato che questo tipo di neurone non esiste nei roditori, uno dei modelli animali più usati nelle sperimentazioni.

Le osservazioni (effettuate combinando misurazioni dell'attività elettrica con analisi genetiche) dimostrano che queste cellule formano sinapsi sempre con lo stesso sito specifico di un altro tipo di neuroni della corteccia cerebrale, le cellule piramidali. Per questo, ipotizzano Lein e Tamás, il rosehip neuron inibisce l'attività di altre cellule, ma solo in circostanze particolari. Se immaginiamo un neurone inibitore come il freno di un automobile, spiegano i due ricercatori, questo freno sarà progettato per fermare l'auto solo in posti specifici, come il benzinaio o il supermercato, ma non altrove. Lein e colleghi ammettono che è presto per affermare con sicurezza che si tratti di un tipo di cellula unico dell'essere umano, ma la sua assenza nel cervello di topi e ratti e in altre specie comunemente usate in laboratorio è una questione importante che va approfondita, anche per comprendere la validità della sperimentazione animale. Potrebbero esistere solo negli esseri umani e nei primati, spiegano, e questo le metterebbe in quella cortissima lista di cellule che si alterano nelle malattie neurologiche tipicamente umane. Le prossime ricerche del gruppo verificheranno se questi neuroni esistono anche in altre parti del cervello umano ed esploreranno il loro possibile ruolo nelle malattie nervose.

Federica Sgorbissa



ROBOTICA

Gli strani effetti dei robot sui bambini

Un esperimento mostra che bambini potrebbero esserne influenzati fino a credere a cose false

Cortesia Tamas Lab, Università di Szeged (*neurone, a fronte*), iStock (*letto, a fronte*); BSIP/UIG via Getty images (*robot*)

Nessuno pensa che un robot possa condizionare davvero un essere umano, ma la letteratura scientifica è ricca di studi che dimostrano il contrario, per esempio che gli adulti tendono a seguire pedissequamente un robot in condizioni di finto pericolo. Ora però un esperimento, pubblicato su «Science Robotics», ha evidenziato che se gli adulti sono influenzabili dai robot in casi limite, i bambini lo sono ancora di più, fino al punto di credere a cose false.

L'esperimento è stato effettuato da un gruppo di studiosi delle interazioni cognitive composto da ricercatori dell'Università di Bielefeld, in Germania, del Max-Planck-Institut für Bildungsforschung di Berlino e dell'Università di Gent, in Belgio. In particolare, i ricercatori hanno usato il cosiddetto «test di conformità», ideato dallo psicologo statunitense di origine polacca Solomon Asch negli anni cinquanta per verificare quanto un gruppo possa influenzare le opinioni di un singolo. «I soggetti del test – spiega Anna-Lisa Vollmer dell'Università di Bielefeld – devono valutare un'immagine e poi ascoltare i giudizi errati su di essa formulati da un gruppo complice dei ricercatori». In questo caso il gruppo era composto da tre robot Nao, alti 60 centimetri, capaci di «parlare» e di gesticolare per dare enfasi a quanto dicono.

Il test è stato effettuato su adulti e su bambini tra i 7 e i 9 anni di età. Si trattava di guardare una linea e scegliere quella di uguale lunghezza in un gruppo di tre. I robot indicavano sempre una risposta sbagliata, su cui poi insistevano. Gli adulti non si sono mai fatti influenzare, ma i bambini sì, sempre.

Quale, in sintesi, lo scopo dello studio? «È fondamentale – dice Vollmer – capire fino a che punto i bambini possono essere influenzati dai robot, perché si può per esempio pensare di trarre vantaggio dall'ascendente delle macchine su di loro per fini educativi, per far passare un messaggio importante. E naturalmente, anche per evitare che succeda l'opposto, vale a dire che qualcuno possa usare i robot per influenzarli negativamente».

Riccardo Oldani

Altre specie che vanno in menopausa

Siamo gli unici primati ad andare in menopausa e anche gli unici mammiferi non cetacei. Uno studio pubblicato su «Scientific Reports» ha identificato ora due nuove specie, narvalo e beluga, che si aggiungono alla lista di quelle con questa caratteristica: essere umano, orca e globicefalo di Gray.
La menopausa è considerata un paradosso: se dal punto di vista evolutivo sopravvivere e riprodursi sono i nostri principali scopi, che senso ha per una femmina smettere di ovulare ben prima della morte? Analizzando una grande mole di dati, Sam Ellis, dell'Università di Exeter, e colleghi hanno scoperto che beluga e narvalo vanno in menopausa, mentre altri cetacei no. Le due specie hanno un antenato comune e i ricercatori pensano che questo tratto si sia evoluto proprio nel predecessore, in maniera indipendente da altre specie di balena.
L'ipotesi evolutiva più accreditata sulla menopausa è che le nonne aumentino la probabilità di trasmissione del patrimonio genetico concentrandosi, dopo una certa età, sull'accudimento dei figli dei figli. Secondo gli autori della ricerca, studiare i cetacei artici può aiutarci a testare questa ipotesi, perché a differenza dell'essere umano, vivono ancora nelle condizioni ambientali dove questo tratto sarebbe emerso.

Federica Sgorbissa

La vita pullula in fondo agli oceani

Dei 3800 metri di profondità media dei mari, l'essere umano frequenta abitualmente solo le prime decine. Il progetto Ocean Twilight Zone (OTZ), della statunitense Woods Hole Oceanographic Institution, si è posto ora l'obiettivo di esplorare in tutto il mondo, nei prossimi sei anni, la zona crepuscolare oceanica, quella fra 200 e 1000 metri, finora trascurata dalla ricerca.
La prima spedizione dell'OTZ si è appena svolta nell'Oceano Atlantico settentrionale, e ha testato strumenti per analizzare la vita crepuscolare, che permetteranno un censimento preciso. «Già il primo test ha rivelato un'inaspettata varietà e abbondanza di forme di vita», dice il biologo e oceanografo Mark Benfield dell'Università della Louisiana, coinvolto nel progetto. «Estrapolando quei dati preliminari, pare che la zona crepuscolare ospiti una massa vivente 100 volte maggiore di quella superficiale». Un bioma con un ruolo fondamentale per il clima terrestre. «Di giorno molte specie crepuscolari migrano verso l'alto per nutrirsi, e tornano poi in basso di notte. Così, assorbono carbonio in superficie, e lo trasportano nelle profondità, impedendo che torni in aria come CO_2. Questo facilita lo stoccaggio del carbonio negli oceani, riducendo l'impatto delle emissioni antropiche.» (AlSa)

Una nuova disciplina, la fenomica

Bisogna combinare i tanti filoni che studiano le relazioni tra geni e fenotipi umani in una nuova disciplina, la «fenomica». Si integrerebbero così una varietà di metodi e visioni oggi sconnessi: per esempio le indagini su grande scala, che studiano gli effetti medi su grandi popolazioni di geni, farmaci o esposizioni ambientali, e quelle che analizzano gli effetti in piccole popolazioni ma in modo più approfondito. E si riuscirebbe a dipanare la rete di interazioni tra le variabilità genetiche e ambientali, accelerando i progressi in settori come la tossicologia e la medicina personalizzata.

Lo propone su «Science» un articolo di studiosi statunitensi e britannici con prima firma Garret FitzGerald, dell'Università della Pennsylvania a Filadelfia. «Qual è il vantaggio di una nuova etichetta, visto che gli studi fenotipici umani esistono da tempo?» si chiede FitzGerald. La risposta è pragmatica: poiché sono studi che assorbono molte risorse economiche e professionali, riconoscerli come disciplina a se stante darebbe loro un grosso impulso, facendo sorgere specifici programmi di formazione, protocolli e strutture, come è già avvenuto per discipline come l'epidemiologia clinica, che con la definizione formale hanno visto una forte crescita di attività e investimenti. (GiSa)

Un'insolita asimmetria

Quando l'acqua raggiunge la massima densità, alla temperatura di 4 °C, mostra un insolito trasferimento di protoni. Lo rivelano Emilia V. Silletta e colleghi della New York University su «Physical Review Letters». L'acqua liquida (H_2O) si autoionizza in protoni (H^+) e ioni idrossido (OH^-), che formano deboli legami a idrogeno e sono molto mobili. Per quasi un secolo, si è creduto che il loro trasporto fosse speculare. I modelli teorici e le simulazioni al computer, tuttavia, prevedono un'asimmetria che finora mancava di prove sperimentali.

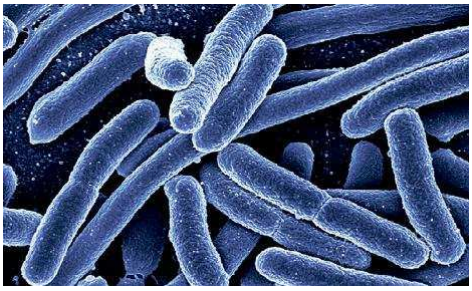
Raffreddando l'acqua fino alla massima densità e grazie a tecniche di risonanza magnetica nucleare, il gruppo ha osservato differenze nel tempo di vita dei due tipi di ioni e nella velocità di trasporto. A 4 °C, una particolare configurazione dei legami a idrogeno consente agli H^+ di saltare da una molecola all'altra di acqua più velocemente degli OH^-. (EuMe)

Cresce il rischio di alluvioni costiere in Europa

Usando un nuovo modello matematico, l'idrologo Michalis Vousdoukas e colleghi del Joint Research Centre europeo di Ispra, vicino a Varese, hanno elaborato una mappa del rischio di alluvioni costiere nell'Unione Europea, con una risoluzione di soli 100 metri. Come spiegato su «Nature Climate Change», i risultati mostrano che questi disastri potrebbero passare dal colpire in media 100.000 europei all'anno, con danni per 1,25 miliardi di euro, a coinvolgere a fine secolo oltre tre milioni di persone, con una spesa annuale fra i 93 e i 961 miliardi di euro, a seconda della gravità del cambiamento climatico. Le ragioni di questi incrementi sono note: l'aumento del livello medio del mare, stimato fra 50 e 250 centimetri al 2100, a causa della dilatazione termica delle acque e dello scioglimento dei ghiacciai, e l'aumento di intensità e frequenza dei fenomeni meteo estremi, come tempeste atlantiche e cicloni mediterranei. Se i paesi europei non inizieranno subito a rafforzare le misure di protezione e adattare le infrastrutture costiere, quindi, i problemi legati alle inondazioni dal mare esploderanno, anche se non per tutti allo stesso modo. «I paesi più a rischio sono quelli che già oggi subiscono le peggiori alluvioni costiere per le tempeste atlantiche: Regno Unito e Francia. Ma visto che anche il clima mediterraneo diventerà più turbolento, il terzo paese dell'Unione Europea più a rischio sarà l'Italia», avverte Vousdoukas. (AlSa)

iStock (*fondale, acqua, alluvione*);

Estinzioni batteriche



I batteri, veri signori del nostro pianeta, sembravano troppo pervasivi e numerosi per estinguersi. E invece la falce colpisce anche loro, non diversamente da piante e animali.

Lo rivela un'analisi matematica dell'albero genealogico di 448.112 ceppi batterici pubblicata su «Nature Ecology & Evolution» da Stilianos Louca dell'Università della British Columbia, in Canada, e colleghi, una delle più complete mai tentata. Da cui trapela che, anche se la diversità batterica è andata aumentando nella storia della Terra, la grande maggioranza delle specie batteriche finora esistite è estinta. I batteri seguono quindi le stesse regole generali degli altri viventi, per cui nascita e scomparsa di specie hanno tassi simili e le singole specie hanno vita relativamente breve. Con un'eccezione: i batteri non sembrano toccati dagli eventi di estinzione di massa. Il tasso di estinzione è invece quasi costante nel tempo. (MaSan)

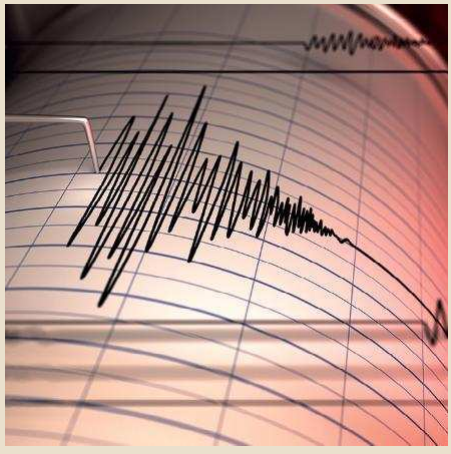
Risolto il caso della talidomide

Messo in commercio negli anni cinquanta come rimedio contro la nausea per donne in gravidanza, il farmaco talidomide, prodotto dall'azienda tedesca Chemie Grünenthal, fu responsabile di migliaia di casi di aborti e di malformazioni fetali, soprattutto a carico degli arti. Uno studio pubblicato di recente su «eLife» da Eric S. Fischer e colleghi del Dana-Farber Cancer Institute di Boston ha chiarito i meccanismi a monte dell'azione teratogenica (dannosa per lo sviluppo del feto) del farmaco. In colture di cellule staminali embrionali umane, che hanno un profilo di espressione genica simile a quello delle cellule fetali, la talidomide ha interferito con la sintesi di molti fattori di trascrizione, cioè proteine che regolano l'espressione dei geni. Tra queste, SALL4, proteina necessaria per il normale sviluppo di tessuti e organi, le cui «scorte» nelle cellule sono diminuite di una volta e mezzo in meno di 24 ore dalla somministrazione.

A muovere il rinnovato interesse non è stata mera curiosità. Oggi la talidomide e suoi derivati sono impiegati con successo nella cura di alcuni tumori, quindi è necessario conoscere in dettaglio come interagiscono con il normale funzionamento cellulare, anche in previsione dello sviluppo di farmaci che contengano principi attivi dalla formula molecolare simile. (MaSa)

I grandi terremoti ne innescano altri distanti?

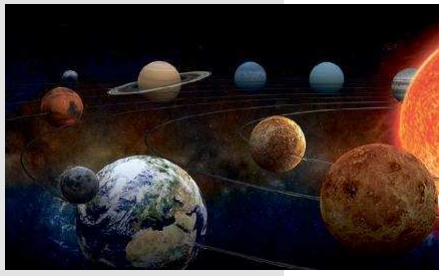
È una cosa che molti sismologi tendono a negare: l'impressione che i grandi terremoti non arrivino da soli, ma che siano seguiti a breve da altri, intensi movimenti tellurici in parti del mondo distanti dalla prima scossa. E invece l'impressione potrebbe essere giusta, o almeno così afferma su «Scientific Reports» il geofisico Robert O'Malley dell'Oregon State University dopo aver esaminato 5400 scosse di terremoto di magnitudo di almeno 6.5 della scala Richter, verificatesi nel mondo tra il 1973 e il 2016.
Ebbene, nei tre giorni seguenti alla prima scossa, la possibilità che si avessero terremoti di magnitudo 5.0 o più forti in un'altra parte del globo, tanto distanti dall'epicentro dal primo sisma da escludere che fossero repliche, era ben maggiore della possibilità che si avessero terremoti di simile intensità in periodi casuali di tre giorni, lontani da grandi terremoti. E più la potenza della prima scossa era grande, maggiore era la probabilità che si verificassero altri terremoti distanti.
«I terremoti sono parte di un ciclo di accumulo e rilascio di tensione nelle faglie», dice O'Malley. «Forse



quando questo ciclo si avvicina alla massima tensione sopportabile, le onde sismiche provenienti da un altro terremoto sono sufficienti a far superare la soglia e innescare la scossa. Non conosciamo i dettagli di questo meccanismo, ma i dati storici mostrano chiaramente che esiste.» (AlSa)

L'astro che plasmò il sistema solare

Il nostro sistema solare è una bestia strana. Rispetto a quanto previsto, oltre l'orbita di Nettuno ci sono pochi corpi celesti, le cui orbite sono inspiegabilmente inclinate ed eccentriche; inoltre, Urano e Nettuno sembrano scambiati di posto. Da più di vent'anni si tenta di spiegare queste peculiarità affrontandole singolarmente, ma i calcoli pubblicati su «The Astrophysical Journal» da Susanne Pfalzner del Max-Planck-Institut für Radioastronomie di Bonn identificano un unico colpevole:



l'antico incontro ravvicinato con un'altra stella. Secondo simulazioni, nel primo miliardo di anni di vita del sistema solare, una stella di circa 0,5 masse solari, sfiorando il nostro sistema a circa 100 volte la distanza Terra-Sole, avrebbe sconvolto le orbite dei pianeti esterni e degli altri piccoli corpi transnettuniani, generando le curiose caratteristiche che osserviamo oggi.
Improbabile? Forse no. Stelle come il Sole nascono a grappoli in una stessa nebulosa e, secondo lo studio, nel 20-30 per cento dei casi possono incontrarsi prima di disperdersi. Come ogni buona ipotesi anche questa offre previsioni da testare: l'esistenza di specifiche popolazioni di pianetini ancora da scoprire oltre l'orbita di Nettuno. (MaSan)

SPL/Getty Images (*batteri*); iStock (*sistema solare, sismografo*);

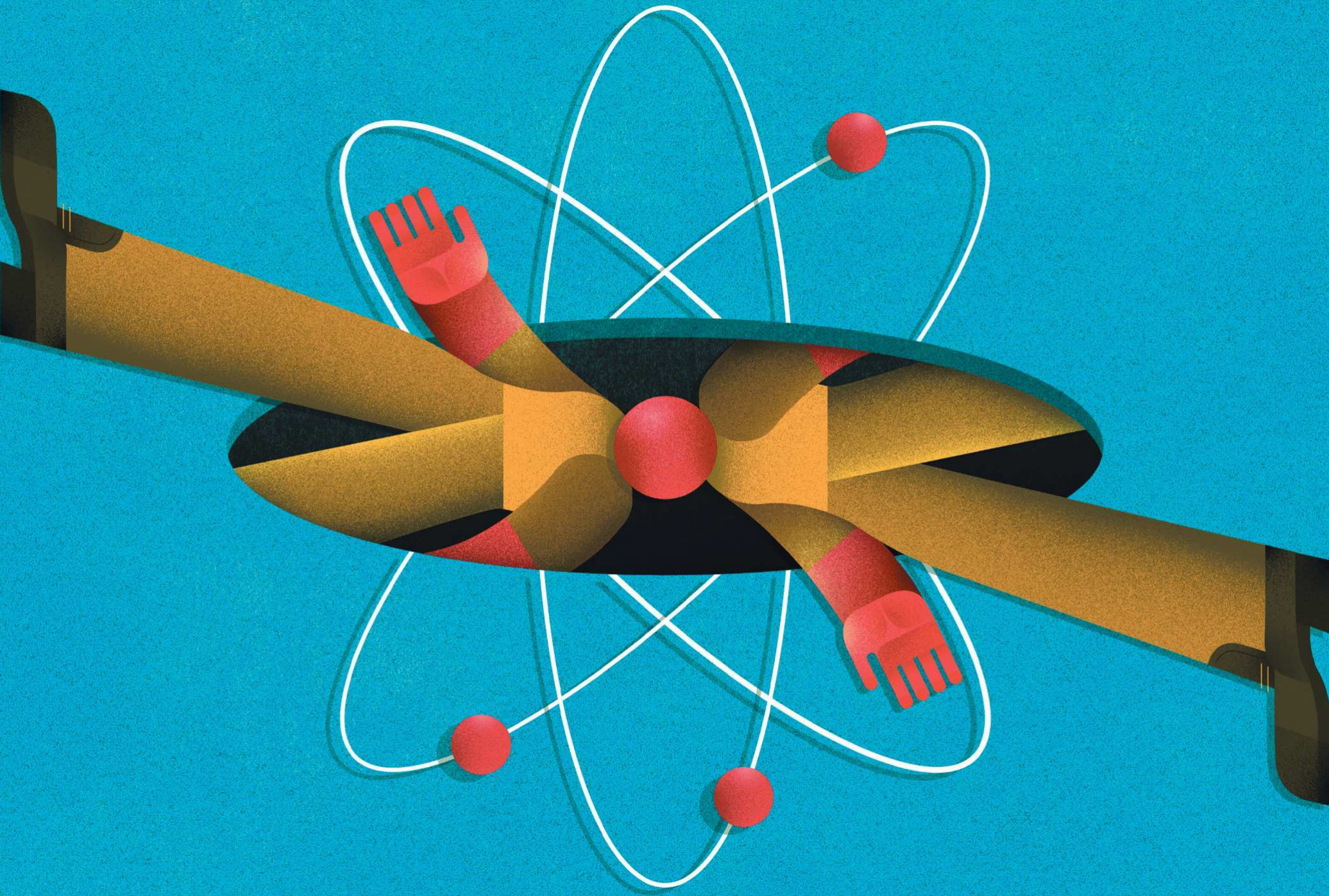


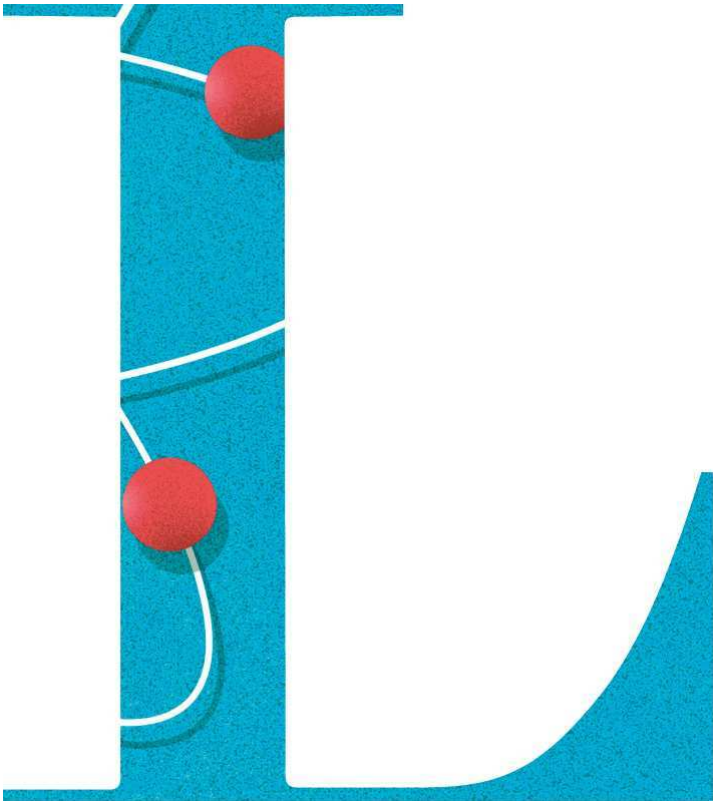
Illustrazione di Maria Corte

Attraversando il confine quantistico

L'universo descritto dalla meccanica quantistica è strano e probabilistico, mentre la nostra realtà quotidiana sembra fissa. Nuovi esperimenti mirano ad appurare dove – e perché – si passa da un ambito all'altro

di Tim Folger

Tim Folger è giornalista *freelance*, scrive per «National Geographic», «Discover» e altre pubblicazioni. È anche curatore della serie *The Best American Science and Nature Writing*, un'antologia annuale pubblicata da Houghton Mifflin Harcourt.



La maggior parte delle opere di Simon Gröblacher è invisibile a occhio nudo. Uno dei dispositivi meccanici che ha realizzato nel suo laboratorio al Politecnico di Delft, nei Paesi Bassi, è lungo pochi milionesimi di metro – non molto più grande di un batterio – e spesso 250 nanometri, circa un millesimo dello spessore di un foglio di carta. Gröblacher potrebbe senza dubbio continuare a rimpicciolire le sue creazioni, ma ha un obiettivo diverso: le vuole ingrandire. «Cerchiamo di costruire cose grandi, ma proprio grandi», dice mentre mostra immagini di dispositivi sul suo computer. Teniamo presente che per Gröblacher, un fisico sperimentale, «grande, ma proprio grande» indica qualcosa appena visibile al microscopio, «delle dimensioni di un millimetro per un millimetro».

Lavorando a una scala tutt'altro che gigantesca, Gröblacher spera di affrontare una domanda straordinaria: un singolo oggetto macroscopico può trovarsi in due posti contemporaneamente? Qualcosa delle dimensioni di una capocchia di spillo, per esempio, potrebbe esistere sia in un punto che in un altro allo stesso tempo? Questa condizione apparentemente impossibile è in realtà la norma per gli atomi, i fotoni e tutte le altre particelle. Secondo le surreali leggi della teoria dei quanti, la realtà al livello fondamentale sfugge alla nostra idea di buon senso: le particelle non hanno posizioni, energie o altre proprietà ben definite... almeno fino a quando nessuno le guarda. Si trovano in numerosi stati contemporaneamente.

Ma per ragioni che i fisici non comprendono la realtà che vediamo è diversa. Il nostro mondo, e persino le sue parti che non possiamo osservare direttamente, sembra essere chiaramente non quantistico. Gli oggetti davvero grandi – il che significa qualsiasi cosa da un virus in su – si manifestano sempre in uno e un solo posto; c'è solo un Gröblacher che nel suo laboratorio a Delft parla con un giornalista che a sua volta, distrutto dal *jet lag*, sta prendendo appunti. E qui c'è un mistero: perché, se tutto è costruito a partire da una confusione quantistica di materia ed energia, non percepiamo le stranezze quantistiche? Dove finisce il mondo quantistico e inizia il cosiddetto mondo classico della fisica newtoniana? Esiste una cesura nella realtà, una scala oltre la quale gli effetti quantistici si interrompono? Oppure la meccanica quantistica regna ovunque e, chissà come, non la vediamo?

«Sappiamo che il micromondo è quantistico, e sappiamo, in un modo o nell'altro, che noi siamo classici, qualunque cosa ciò si-

IN BREVE

Il mondo microscopico e quello macroscopico non si fondono perfettamente: il primo è dominato dalla natura probabilistica della meccanica quantistica, mentre il secondo osserva regole «classiche» più logiche.

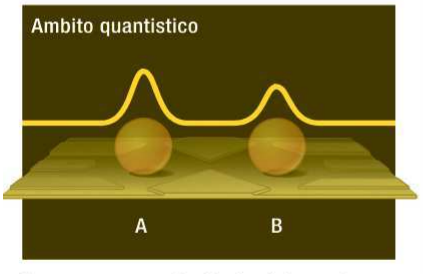
Da tempo i fisici non riescono a rispondere alla domanda su dove finisca uno di questi mondi e dove inizi l'altro, ma alcuni esperimenti offrono la speranza di mettere alla prova teorie diverse. **Una possibilità,** chiamata localizzazione spontanea continua, suggerisce che le probabilità quantistiche collassino casualmente in certezze classiche. Se fosse vero, i collassi creerebbero nell'universo anche un mare di vibrazioni di fondo che gli esperimenti potrebbero rilevare.

Mondi distinti

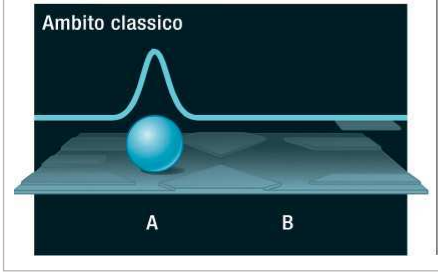
La meccanica quantistica produce nel mondo microscopico alcuni effetti bizzarri, che però non osserviamo nella nostra realtà macroscopica e «classica». Non si è mai ben capito come e perché l'universo passi dall'uno all'altro dei due ambiti, ma varie teorie, illustrate qui, offrono spiegazioni possibili.

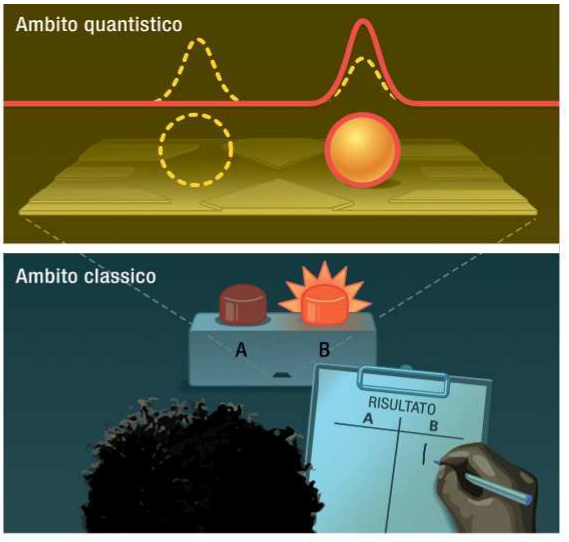
Quantistico vs. classico

Secondo la meccanica quantistica, le particelle non esistono in stati ben definiti – qui o là, con questa o quella energia – ma assumono tutti gli stati e le posizioni possibili. La teoria descrive le particelle con equazioni chiamate funzioni d'onda, che sono combinazioni o «sovrapposizioni» di più onde. L'ampiezza di ciascun picco in una funzione d'onda denota la probabilità che una particella si possa trovare in una specifica circostanza, per esempio nel punto A o B, come nella figura.



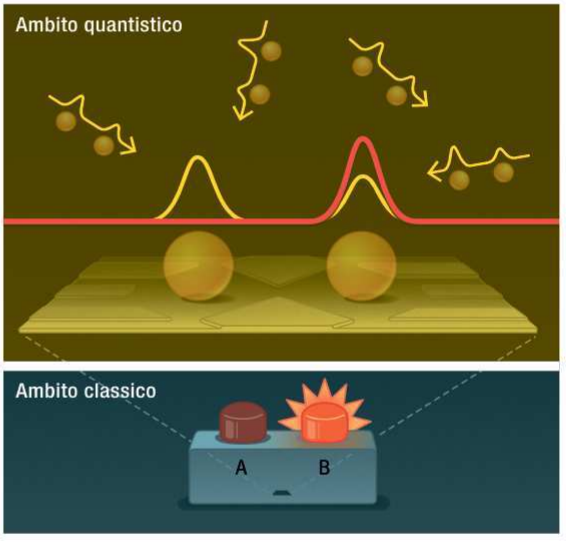
Stranamente, quando gli scienziati compiono una misurazione su una particella, questo atto sembra ridurre tutte le possibilità quantistiche a una sola, apparentemente scelta a caso. L'esperimento troverà la particella nel punto A, per esempio, e la particella entrerà nell'ambito classico, cessando di essere in una sovrapposizione di stati.





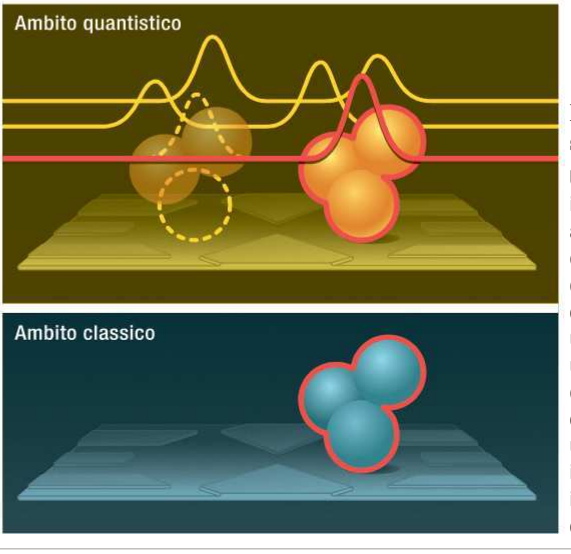
Collasso all'atto della misurazione

Una teoria su come l'universo passi dal quantistico al classico è che la transizione sia dovuta all'atto della misurazione. Le particelle possono restare in sovrapposizioni quantistiche (*linee gialle tratteggiate*) finché nessuno le guarda troppo da vicino, ma una volta che facciamo una misurazione la particella è costretta a «scegliere» uno stato specifico (*linee rosse continue*). Come questo accada, e perché la misurazione umana debba assumere un tale significato in fisica, rimane un mistero.



Decoerenza

Un'altra teoria ipotizza che sia l'ambiente in cui si trova una particella a trasferirla dal mondo quantistico a quello classico. Finché una particella non è disturbata da nessuna influenza esterna – afferma la teoria – può rimanere in una sovrapposizione di stati. Ma quando le funzioni d'onda di altre particelle o oggetti vicini incontrano la sua, interferiscono, facendo sì che le molte possibilità quantistiche della particella collassino in un'unica realtà classica.



Localizzazione spontanea continua

Un'altra possibilità è che il collasso della funzione d'onda a una singola possibilità sia un evento casuale, non provocato da interferenze umane o ambientali. La probabilità che una certa particella collassi in un dato momento è estremamente piccola, ma in oggetti macroscopici contenenti un enorme numero di atomi il collasso di almeno uno è inevitabile, il che fa quindi collassare l'intera struttura.

Illustrazioni di Jen Christiansen

gnifichi», dice Angelo Bassi, fisico teorico all'Università di Trieste. «Ignoriamo però la vera natura della materia tra il micro e il macro.» Questa terra di nessuno ha sconcertato i fisici fin dalla nascita della teoria dei quanti, un secolo fa. Negli ultimi anni, però, Gröblacher e altri fisici hanno cominciato a fare esperimenti che richiedono poche risorse ma sono estremamente sensibili, e che un giorno potrebbero rivelare come gli oggetti realizzino la sorprendente transizione dal quantistico al quotidiano. Nessuno può ancora dire se questi tentativi risolveranno i misteri della teoria dei quanti o li renderanno più fitti, ma nel sondare le selvagge terre di confine quantistiche i ricercatori hanno la possibilità di scoprire un nuovo regno della fisica.

Il problema della misurazione

Pur con tutti i suoi paradossi, la meccanica quantistica è la teoria scientifica più potente e accurata mai messa a punto. Le previsioni della teoria concordano con gli esperimenti con una precisione incredibile, in alcuni casi migliore di una parte su mille miliardi. Rivoluzionare ciò che sappiamo della struttura atomica ha trasformato ogni aspetto della scienza, dalla biologia all'astrofisica. Senza la meccanica quantistica non ci sarebbero i dispositivi elettronici, i telefoni cellulari, Google. Eppure questa teoria ha una vistosa lacuna, spiega Stephen L. Adler, fisico teorico all'Institute for Advanced Study di Princeton. «Nella meccanica quantistica, le cose non accadono».

L'enigmatico commento di Adler si riferisce a ciò che le equazioni di base della meccanica quantistica dicono, o non dicono, sulla natura della realtà. Note come funzioni d'onda, queste equazioni assegnano probabilità ai vari possibili stati in cui si può trovare un oggetto. A differenza della fisica newtoniana, dove le mele, i pianeti e tutto il resto hanno sempre proprietà definite, la fisica quantistica è intrinsecamente probabilistica. In un certo senso, non è neppure possibile dire che le particelle descritte dalle funzioni d'onda esistano pienamente; non hanno posizione, velocità o energia fissa, solo probabilità.

Pur con tutti i suoi paradossi, la meccanica quantistica è la teoria scientifica più potente e accurata mai messa a punto

Tutto però cambia quando qualcuno compie una misurazione. A quel punto emergono proprietà reali e tangibili, come se fossero state evocate dal semplice tentativo di osservarle. Non solo la teoria non dice perché le misurazioni portino a questa trasformazione, ma non ci dice neppure perché si manifesti una di quelle tante possibilità anziché una delle altre. La meccanica quantistica descrive ciò che potrebbe accadere come risultato di una misurazione, non quello che effettivamente accadrà. In altre parole, la teoria non fornisce nessun meccanismo per la transizione dal probabile al reale.

Per «far accadere le cose» in meccanica quantistica, uno dei leggendari fondatori della teoria sostenne un approccio quasi metafisico. Verso la fine degli anni venti Werner Heisenberg formulò e rese nota l'idea che sia l'atto stesso della misurazione a far «collassare» la funzione d'onda di una particella: i molti risultati potenziali si riducono istantaneamente a un unico risultato osservato. L'unico difetto di questa idea è che non c'è nulla nelle equazioni della teoria quantistica che descriva il verificarsi di un collasso o che offra un processo fisico che lo spieghi. La «soluzione» di Heisenberg ha introdotto un nuovo mistero nella fisica: che cosa succede quando una funzione d'onda collassa? Questo enigma quantistico è ora noto come problema della misurazione.

Forse nel corso degli ultimi novant'anni i fisici si saranno abituati all'idea del collasso, ma non l'hanno mai apprezzata davvero. Il concetto che sia un'azione umana – la misurazione – a svolgere un ruolo centrale nella nostra teoria più fondamentale su come funziona l'universo non piace a nessuno che tenga al concetto di realtà oggettiva.

«Fondamentalmente, ho un ideale di come dovrebbe essere una teoria fisica», dice il fisico e premio Nobel Steven Weinberg, dell'Università del Texas ad Austin. «Dovrebbe essere qualcosa che non fa alcun riferimento specifico agli esseri umani, qualcosa da cui si possa ricavare tutto il resto, compreso tutto ciò che si può dire sistematicamente sulla chimica, sulla biologia o sulle questioni umane. Non dovrebbero comparire gli esseri umani nelle leggi fondamentali della natura. Eppure non vedo alcun modo di formulare la meccanica quantistica senza un postulato interpretativo che si riferisca a ciò che accade quando qualcuno decide di misurare qualcosa».

Libera interpretazione

Un trucco per uscire dal problema della misurazione è assumere che il collasso semplicemente non avvenga. Nei primi anni settanta H. Dieter Zeh, ora professore emerito all'Università di Heidelberg, in Germania, propose un processo che produce l'apparenza del collasso preservando la piena molteplicità quantistica della funzione d'onda. Nel mondo reale, sosteneva Zeh, la funzione d'onda di ogni particolare oggetto diventa irrimediabilmente «invischiata» con quelle di tutte le altre cose nell'ambiente in cui si trova, rendendo impossibile tenere traccia di ognuna delle innumerevoli interazioni quantistiche che avvengono intorno a noi. Nel linguaggio quantistico si dice che le funzioni d'onda si ritrovano in *entanglement*, un tipo speciale di correlazione che preserva la connessione anche a grandi distanze. Un osservatore può sperare di vedere solo una piccola parte di quel vasto sistema in entanglement, e quindi ogni specifica misurazione cattura solo una scheggia del mondo quantistico.

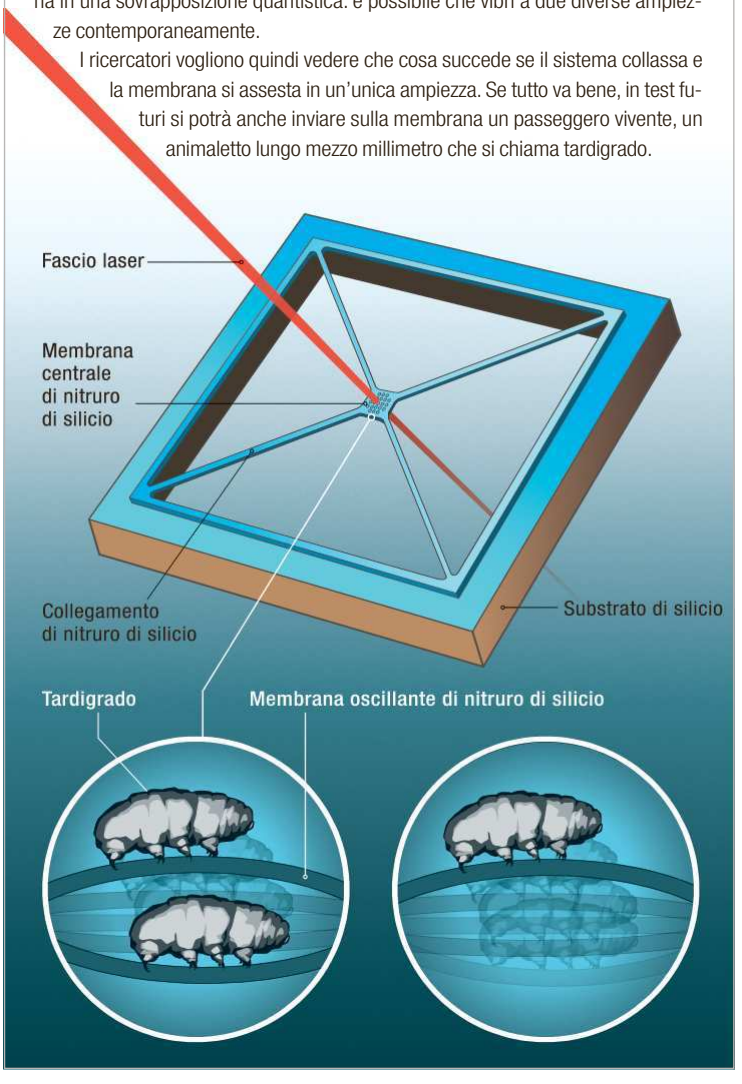
Zeh definì questo processo «decoerenza», e per i fisici è diventata la spiegazione principale del motivo per cui non assistiamo ai fenomeni quantistici a livello macroscopico. Descrive il modo in cui una funzione d'onda intatta – che comprende in sé tutti gli stati fisici possibili che potrebbe avere una particella – si desincronizza mischiandosi con le funzioni d'onda di altri sistemi quantistici intorno a esso. Se è corretto il modello della decoerenza, noi stessi viviamo tra i filamenti di questa aggrovigliata rete quantistica, ma ne vediamo solo una parte.

Non tutti i fisici credono che la decoerenza risolva il problema della misurazione. Per prima cosa non riesce ancora a spiegare perché vediamo solo un filo della ragnatela quantistica e non altri. «Ancora oggi è necessario invocare il postulato del collasso, che prende uno stato *entangled* e afferma che debba essere selezionato uno di quei possibili stati, e ciò di solito si fa in modo arbitrario», dice Miles P. Blencowe, fisico teorico del Dartmouth College. Per Blencowe e altri, il processo non coglie il modo in cui percepiamo le cose. «Credo che abbiamo questo unico mondo che evolve», dice. «Come si passa da uno stato in entanglement a questa nostra percezione del mondo che trova sempre un unico percorso nel futuro? Molti fisici che si occupano di meccanica quantistica hanno l'impressione che ci debba essere un collasso per ripri-

Test in laboratorio

I fisici vogliono vedere se gli oggetti macroscopici possono comportarsi in modi quantistici. Un esperimento già in programma sarà basato su una membrana delle dimensioni di un millimetro che somiglierà a un piccolo trampolino. La membrana, collegata a un chip di silicio, potrà essere soggetta a vibrazioni di lunga durata. In una fase ulteriore l'esperimento prevede l'uso di un laser per portare la membrana in una sovrapposizione quantistica: è possibile che vibri a due diverse ampiezze contemporaneamente.

I ricercatori vogliono quindi vedere che cosa succede se il sistema collassa e la membrana si assesta in un'unica ampiezza. Se tutto va bene, in test futuri si potrà anche inviare sulla membrana un passeggero vivente, un animaletto lungo mezzo millimetro che si chiama tardigrado.



stinare l'unità del mondo in evoluzione, piuttosto che una rete di entanglement che si allarga sempre più». La valutazione di Adler sulla decoerenza è più diretta: «Non dà affatto un meccanismo per il collasso. Non risolve il problema, punto».

Una sessantina d'anni fa un dottorando della Princeton University propose una soluzione ancora più radicale. Nella sua tesi di dottorato del 1957 Hugh Everett III sosteneva che la funzione d'onda non subisce né un collasso né una decoerenza. Quello che accade è che tutte le sue componenti sono fisicamente reali, parti di una serie di universi che si ramifica all'infinito. L'interpretazione «a molti mondi» di Everett, come viene chiamata, è diventata popolare tra i cosmologi, che hanno anche altri motivi per pensare che potremmo vivere in un multiverso. Ma nessuno è mai riuscito a distinguere sperimentalmente l'idea dei molti mondi dalla teoria quantistica standard.

Lo stesso vale per altre interpretazioni della meccanica quantistica. Il fisico francese Louis de Broglie, uno dei fondatori della teoria dei quanti, cercò di eliminare la necessità del collasso introducendo la nozione di «onde pilota» che guidano i percorsi degli elettroni e di tutte le altre particelle. Nella versione di de Broglie della teoria quantistica, che il fisico statunitense David Bohm sviluppò ulteriormente negli anni cinquanta, non c'è alcun misterioso collasso; le misurazioni mostrano semplicemente le interazioni tra le onde pilota e le particelle a esse associate. Ma, ancora una volta, nessuno ha ancora trovato prove sperimentali che distinguano la visione della realtà data dalle onde pilota di de Broglie e Bohm dai molti mondi di Everett o da una fra una dozzina di altre interpretazioni della meccanica quantistica. In definitiva, i partigiani quantistici scelgono la loro descrizione preferita della realtà basandosi sull'estetica. «Ritorno sempre sul fatto che abbiamo un unico mondo che evolve», dice Blencowe. «Per questo abbiamo bisogno di una sorta di collasso, che non sia solo una regola per i risultati degli esperimenti, ma un processo reale».

Verificare il collasso

Potremmo considerare la città stessa di Delft come un sistema quantistico in entanglement. I suoi canali placidi e gli edifici medievali in mattoni si sovrappongono nello spazio e nel tempo con le automobili, i ciclisti, i negozi di cellulari e gli studenti che barcollano verso casa dalle feste notturne, lungo le stesse stradine percorse un tempo dal pittore Jan Vermeer. Il laboratorio di Gröblacher si trova un paio di chilometri a sud dal centro storico e, apparentemente, parecchi secoli nel futuro. In una tiepida mattina di primavera, mostra a un visitatore una delle cose «grandi, ma proprio grandi» che ha costruito con i suoi colleghi: una membrana di un millimetro collegata a un chip di silicio, appena visibile a occhio nudo.

Vista da vicino (o esaminata nell'ingrandimento su un poster nel corridoio fuori dall'ufficio di Gröblacher), la membrana ricorda un minuscolo trampolino. È fatta di nitruro di silicio, un materiale ceramico molto resistente che è stato usato per i cuscinetti a sfere dei motori degli *space shuttle*, con al centro uno specchio altamente riflettente. Un singolo impulso dato da un componente del chip può far vibrare la membrana per vari minuti. Queste membrane sono «ottimi oscillatori», dice Gröblacher. «Per dare un'idea, in proporzione sarebbe come spingere una persona su un'altalena e ottenere come risultato che vada avanti e indietro, con una sola spinta, per dieci anni». Nonostante le dimensioni minuscole, la membrana è straordinariamente robusta. «La sottoponiamo a enormi tensioni interne: 6 gigapascal», spiega Richard Norte, uno dei collaboratori di Gröblacher. «È almeno 10.000 volte lo sforzo all'interno di una gomma per bicicletta, in qualcosa che è appena otto volte più spesso della larghezza del DNA».

Queste qualità di robustezza fanno della membrana un oggetto ideale per studiare i fenomeni quantistici: vibra in modo affidabile a temperatura ambiente senza rompersi. Gröblacher e Norte

prevedono, più avanti, di usare un laser per portare la membrana in una sovrapposizione di stati, uno stato quantistico in cui possa oscillare simultaneamente a due diverse ampiezze. In linea di principio, la capacità della membrana di oscillare per vari minuti dovrebbe permettere che questi stati quantistici durino abbastanza a lungo nel tempo da farci vedere che cosa succede quando – o se – la membrana collassa in un unico stato classico.

«È esattamente quello che serve per creare un fenomeno quantistico», afferma Gröblacher. «Non vogliamo che interagisca con l'ambiente, perché così facendo indurrebbe la decoerenza, presumibilmente. Vogliamo quindi un sistema ben isolato, lo portiamo in uno stato quantistico e poi attiviamo la nostra decoerenza personalizzata, che siamo in grado di controllare: un laser. Non siamo ancora al punto in cui possiamo effettivamente realizzare una sovrapposizione delle oscillazioni del sistema. Ma è quello a cui puntiamo, di qui a qualche anno».

Gröblacher e i suoi colleghi non hanno intenzione di fermarsi qui. Sperano un giorno di riuscire a mettere sulla membrana un essere vivente, e poi porre la membrana e i suoi passeggeri in una sovrapposizione quantistica. I candidati principali per questa missione nello spazio quantistico sono microrganismi a otto zampe chiamati tardigradi, noti anche come «orsi d'acqua». «Sono creature incredibili», dice Gröblacher. «Si può portarli a temperature bassissime, e sopravvivono; si può surriscaldarli, e sopravvivono; metterli nel vuoto, e sopravvivono». Ammette che questo passo è ancora un po' lontano. «Non è una follia. È bello come obiettivo a lungo termine, ma prima dobbiamo mettere i nostri dispositivi in sovrapposizione, e poi potremo pensare di inserirci un organismo vivente».

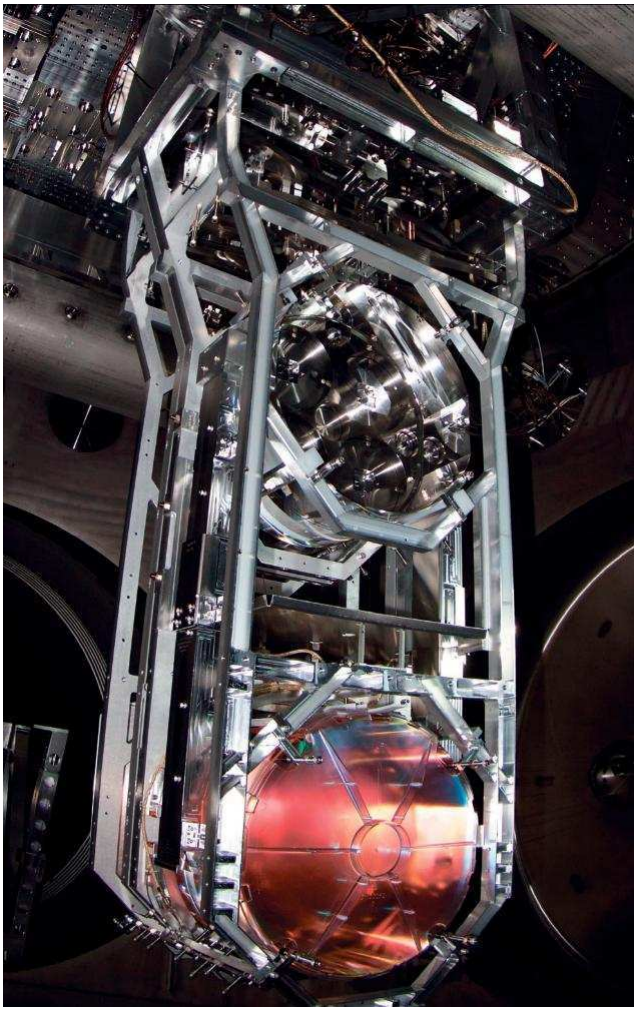
Localizzazione spontanea continua

Con o senza tardigradi, un esperimento del genere permetterebbe ai fisici di verificare se la natura censuri in qualche modo gli effetti quantistici al di sopra di certe dimensioni. Alcuni fisici hanno ipotizzato che il collasso possa essere un fenomeno fisico reale, con effetti misurabili. Un'idea, nota come localizzazione spontanea continua, o CSL, da *continuous spontaneous localization*, è che il collasso della funzione d'onda sia semplicemente un evento casuale che si verifica costantemente nel mondo microscopico. Secondo la CSL, la possibilità che una data particella collassi è estremamente rara – potrebbe accadere una volta ogni centinaia di milioni di anni – ma per grandi aggregati di particelle il collasso diventa una certezza.

«Un singolo protone deve aspettare circa 10^{16} secondi per osservare un collasso, e quindi accade solo poche volte nella vita dell'universo», dice Bassi. Ma l'enorme numero di particelle di un oggetto macroscopico lo rende inevitabile. «Se consideriamo un tavolo, che contiene approssimativamente un numero di Avogadro di particelle, dell'ordine di 10^{24}, il collasso avviene quasi immediatamente». Se la CSL è reale, la misurazione e l'osservazione non svolgono alcun ruolo nel collasso. In ogni misurazione, una determinata particella e i dispositivi che la registrano diventano parte di un immenso schieramento quantistico che collassa molto rapidamente. Anche se sembra che la particella sia passata da una sovrapposizione di stati a una posizione reale nel corso di una misurazione, questa trasformazione è avvenuta non appena la particella ha interagito con i dispositivi, prima che si verificasse la misurazione.

Se risultasse davvero che il collasso è un fenomeno fisico, le conseguenze pratiche potrebbero essere significative. Per prima cosa, potrebbe vincolare la nascente tecnologia dei computer quantistici. «In linea di principio vorremmo realizzare computer quantistici sempre più grandi», dice Bassi. «Ma non saremmo in grado di eseguire algoritmi quantistici perché il collasso ucciderebbe tutto». Da decenni la maggior parte dei fisici considera il collasso come un aspetto essenzialmente non verificabile della teoria quantistica, ma la CSL e altri modelli di collasso hanno cambiato la situazione. Il modello CSL, per esempio, prevede che l'azione del collasso provochi un lieve tremolio delle particelle, producendo una vibrazione di fondo onnipresente che potrebbe essere rilevabile negli esperimenti. «Nella CSL il collasso è qualcosa di universale per sistemi microscopici e macroscopici», afferma Bassi. «Ogni volta che c'è un collasso, la particella si muove un po'». Lui e altri fisici hanno cercato prove di questi fenomeni in luoghi inaspettati. Hanno esaminato i dati di calibrazione per il Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO), uno strumento in grado di registrare movimenti 10.000 volte più piccoli della larghezza di un protone.

Nel febbraio 2016 LIGO ha riferito la prima rilevazione di un'onda gravitazionale. L'onda – un'increspatura nello spazio-tempo provocata dalla collisione di due lontanissimi buchi neri – dilatava e comprimeva lo spazio tra due specchi nei due siti sperimentali



Gli specchi di LIGO non mostrano prove dell'effetto delle oscillazioni quantistiche previste dalla teoria CSL.

LIGO Laboratory/California Institute of Technology e Massachusetts Institute of Technology

gemelli negli Stati di Washington e Louisiana. Questa onda, passando, ha spostato le posizioni degli specchi di LIGO di soli 4 millesimi del diametro di un protone, in perfetto accordo con le previsioni della teoria generale della relatività. Ma nei dati di LIGO Bassi e colleghi non hanno trovato alcun indizio di uno spostamento addizionale provocato dal tipo di impulso quantistico previsto dalla CSL. Il risultato non li ha sorpresi. Se il collasso quantistico è un fenomeno fisico effettivo, è straordinariamente debole. La domanda era: quanto debole? Adesso hanno potuto porre limiti estremamente precisi alla sua entità. «Se applichiamo il modello allo specchio di LIGO, dovrebbe muoversi più del previsto, mentre invece non si è mosso molto. Quindi il "rumore" del collasso non può essere tanto intenso», dice Bassi.

I fisici sono andati a caccia di segni del collasso anche in esperimenti progettati per cercare la materia oscura, le particelle ipotetiche che si ritiene rappresentino fino all'85 per cento della materia nell'universo. Uno di questi esperimenti, all'interno dei Pirenei spagnoli, usa rivelatori di germanio per cercare i segnali delle particelle di materia oscura che sfrecciano e generano un lampo di raggi X. Anche una funzione d'onda che collassa dovrebbe creare un lampo, ma non sono state osservate emissioni del genere.

Questi tipi di esperimenti hanno notevolmente ristretto i vincoli sui modelli di collasso, ma non in modo definitivo. Lo scorso settembre Andrea Vinante, fisico dell'Università di Southampton, nel Regno Unito, insieme a Bassi e ad altri tre colleghi, ha riferito la scoperta di possibili prove a sostegno del modello CSL. La squadra di Vinante ha costruito una microscopica trave orizzontale fissata a un'estremità, lunga appena mezzo millimetro, spessa due micrometri e dotata di un piccolo magnete. I ricercatori hanno accuratamente schermato il tutto da eventuali vibrazioni esterne e raffreddato la trave portandola a 40 millesimi di kelvin (0,04 kelvin) per eliminare qualsiasi possibilità di movimenti indotti termicamente.

I fisici sono andati a caccia di segni del collasso anche in esperimenti progettati per cercare la materia oscura

In queste condizioni la trave avrebbe dovuto vibrare leggermente per via del movimento termico delle proprie particelle, ma l'oscillazione reale era maggiore di questo movimento prevedibile. Il rilevatore di movimento dell'esperimento – uno strumento sensibilissimo chiamato *superconducting quantum-interference device* (dispositivo superconduttore a interferenza quantistica, o SQUID) – ha scoperto che la trave e il suo magnete vibravano come un trampolino, salendo e scendendo di qualche millesimo di miliardesimo di metro. Undici anni fa Adler aveva calcolato che le funzioni d'onda, quando collassano, possono produrre vibrazioni circa di questa entità.

«Forse stiamo osservando un rumore non ancora spiegato», dice Vinante, descrivendo i suoi risultati sperimentali. «È coerente con quello che ci aspettiamo dai modelli di collasso, ma potrebbe anche derivare da un effetto che non abbiamo compreso appieno». Con i colleghi sta lavorando ad alcuni miglioramenti per aumentare la sensibilità dell'esperimento almeno di un fattore di 10, e forse 100. «Dovremmo essere in grado di confermare che c'è qualcosa di anomalo o di escludere che quello che abbiamo osservato sia di qualche interesse». Vinante afferma che potrebbe volerci un altro anno o due prima di avere nuovi dati. Considerando la storia ormai secolare dei successi della teoria quantistica, le probabilità di scoprire una deviazione sono scarse.

Ma che cosa succederebbe se uno di questi esperimenti avesse esito positivo e confermasse il fenomeno del collasso quantistico? Porrebbe fine ai misteri e ai paradossi della teoria? «Se il collasso esistesse realmente, dividerebbe il mondo in scale diverse», afferma Igor Pikovski, fisico teorico all'Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics. «Al di sopra di una certa scala di grandezza la meccanica quantistica non sarebbe più la teoria corretta. Ma al di sotto tutto quello che sappiamo della meccanica quantistica sarebbe ancora valido, quindi le stesse domande filosofiche e le stesse interpretazioni che ci creano problemi continuerebbero a valere per la scala inferiore. Avremmo ancora molti mondi per gli elettroni o gli atomi... ma non per la Luna! Quindi alcuni dei problemi non si risolverebbero, e anzi credo che il tutto sarebbe ancora più strano».

Modelli come la CSL sono solo tentativi preliminari di unificare questi due ambiti. Sebbene non siano ancora teorie complete, potrebbero aiutare i fisici a sviluppare un modello di realtà più completo di quello fornito ora dalla meccanica quantistica. «Sono convinto che serva qualche modifica alla meccanica quantistica», dice Adler. «Non vedo perché sia un problema. La meccanica newtoniana è stata ritenuta esatta per 200 anni, e non lo è. La maggior parte delle teorie hanno un dominio al cui interno funzionano, e oltre il quale invece è necessaria una teoria più ampia».

Ma almeno per ora la meccanica quantistica sembra in gran parte resistere a ogni verifica. «No, non stiamo affrontando nessuna crisi. È proprio questo il problema!», dice Weinberg. «In passato abbiamo fatto progressi quando le teorie esistenti si trovavano in difficoltà, mentre adesso non succede niente del genere con la meccanica quantistica. Non è affatto in conflitto con le osservazioni. Il problema è solo riuscire a soddisfare i preconcetti filosofici reazionari di persone come me».

Eppure, nonostante tutte le stranezze della meccanica quantistica, molti scienziati sono felici di ignorarle. Continuano a usare la teoria per far funzionare i loro acceleratori di particelle e rivelatori di materia oscura, e di rado si fermano a riflettere su quello che la meccanica quantistica dice – o non dice – riguardo alla natura fondamentale della realtà. «Penso che molti fisici abbiano quello che ritengo un atteggiamento molto sano – dice Weinberg – continuare a usarla, cercare di far avanzare le frontiere della conoscenza e lasciare le domande filosofiche a una generazione futura». Qualcuno, però, non è disposto ad aspettare così a lungo. «Alcuni diranno che la meccanica quantistica ci ha insegnato che il mondo è strano, e che quindi dobbiamo accettarlo», conclude Bassi. «Io non la penso così. Se qualcosa è strano, dobbiamo capirlo meglio». ■

PER APPROFONDIRE

Mechanical Resonators for Quantum Optomechanics Experiments at Room Temperature. Norte R.A. e altri, in «Physical Review Letters», Vol. 116, n. 14, articolo n. 147202, 8 aprile 2016. Preprint disponibile on line: **https://arxiv.org/abs/1511.06235.**

Improved Noninterferometric Test of Collapse Models Using Ultracold Cantilevers. Vinante A. e altri, in «Physical Review Letters», Vol. 119, n. 11, articolo n. 110401, 15 settembre 2017. Preprint disponibile on line: **https://arxiv.org/abs/1611.09776.**

Aveva ragione Einstein? Musser G., in «Le Scienze» n. 435, novembre 2004.

Il paradosso dei paradossi quantistici. Von Baeyer H.C. , in «Le Scienze» n. 540, agosto 2013.

NEUROSCIENZE

Il settimo senso

Considerato a lungo separato dal cervello, il sistema immunitario si sta rivelando intimamente legato al funzionamento del nostro organo della mente

di Jonathan Kipnis

Illustrazione di Mark Ross

Jonathan Kipnis è professore di neuroscienze e direttore del Center for Brain Immunology and Glia all'Università della Virginia. La sua ricerca verte sulle interazioni tra il sistema nervoso e il sistema immunitario.

Per decenni i testi di anatomia ci hanno insegnato che i due sistemi più complicati dell'organismo – il cervello e il sistema immunitario – esistono quasi del tutto isolati l'uno dall'altro. Secondo ogni descrizione, il cervello aveva come obiettivo il funzionamento del corpo, e il sistema immunitario quello di difenderlo; negli individui sani, i due non si incontravano mai; solo in particolari casi di malattia o di trauma, le cellule del sistema immunitario entravano nel cervello, e quando accadeva si trattava di un attacco.

In anni recenti, però, un'ondata di nuove scoperte ha rivoluzionato la comprensione dei due sistemi da parte degli scienziati. Sempre più prove indicano che il cervello e il sistema immunitario interagiscono in modo sistematico, nella malattia come nella salute: il sistema immunitario può aiutare un cervello danneggiato, per esempio. Svolge un ruolo anche nell'aiutare il cervello ad affrontare lo stress, addirittura in funzioni essenziali del cervello, come l'apprendimento e il comportamento sociale. Inoltre, il sistema immunitario si potrebbe definire una sorta di organo di sorveglianza che rileva microrganismi dentro e intorno al corpo e ne informa il cervello, un po' come i nostri occhi trasmettono informazione visiva e le nostre orecchie segnali uditivi. In altre parole, cervello e sistema immunitario non si limitano a incrociare le loro strade più spesso di quanto si pensava, ma sono profondamente intrecciati.

I ricercatori sono ancora ai primi passi nello studio di questo nuovo e fiorente campo, la neuroimmunologia. Tuttavia è ormai sempre più chiaro che la risposta del cervello all'informazione immunologica, e come quella informazione controlla e influenza i circuiti del cervello, potrebbe essere il segreto per capire molte malattie neurologiche – dall'autismo all'Alzheimer – e per sviluppare nuove terapie che le riguardano. I tentativi di trattare questi disturbi sono sfociati in genere in risultati deludenti, perché buona parte dei farmaci non penetra facilmente nel cervello. I risultati della neuroimmunologia sollevano l'affascinante possibilità che puntare sul sistema immunitario potrebbe essere una tattica più efficace.

Conoscenze acquisite

Per capire il significato di queste scoperte sarà utile conoscere qualche elemento della struttura e del funzionamento del cervello e del sistema immunitario. Il cervello è il nostro supercomputer e il regolatore centrale. Lavorando di concerto con il midollo spinale e con diversi nervi cranici, che insieme formano il sistema nervoso centrale (SNC), controlla tutte le funzioni del corpo. Considerando la vastità dei compiti del cervello, forse non sorprenderà che quest'organo sia incredibilmente complicato. Le sue unità funzionali sono i neuroni, che occupano circa la metà del cervello. Si stima che quello umano ne contenga 100 miliardi, connessi tra loro approssimativamente da 100.000 miliardi di connessioni, le sinapsi. I neuroni, insieme con vari tipi di cellule non neuronali – la glia – costituiscono il parenchima del cervello, il tessuto funzionale responsabile dell'elaborazione dell'informazione. Altri attori fondamentali sono le cellule stromali, che sostengono fisicamente il tessuto parenchimale, e le cellule endoteliali, che delimitano i vasi sanguigni, che alimentano il cervello e formano la cosiddetta barriera ematoencefalica, la quale limita il passaggio di sostanze da altre parti del corpo dentro il cervello.

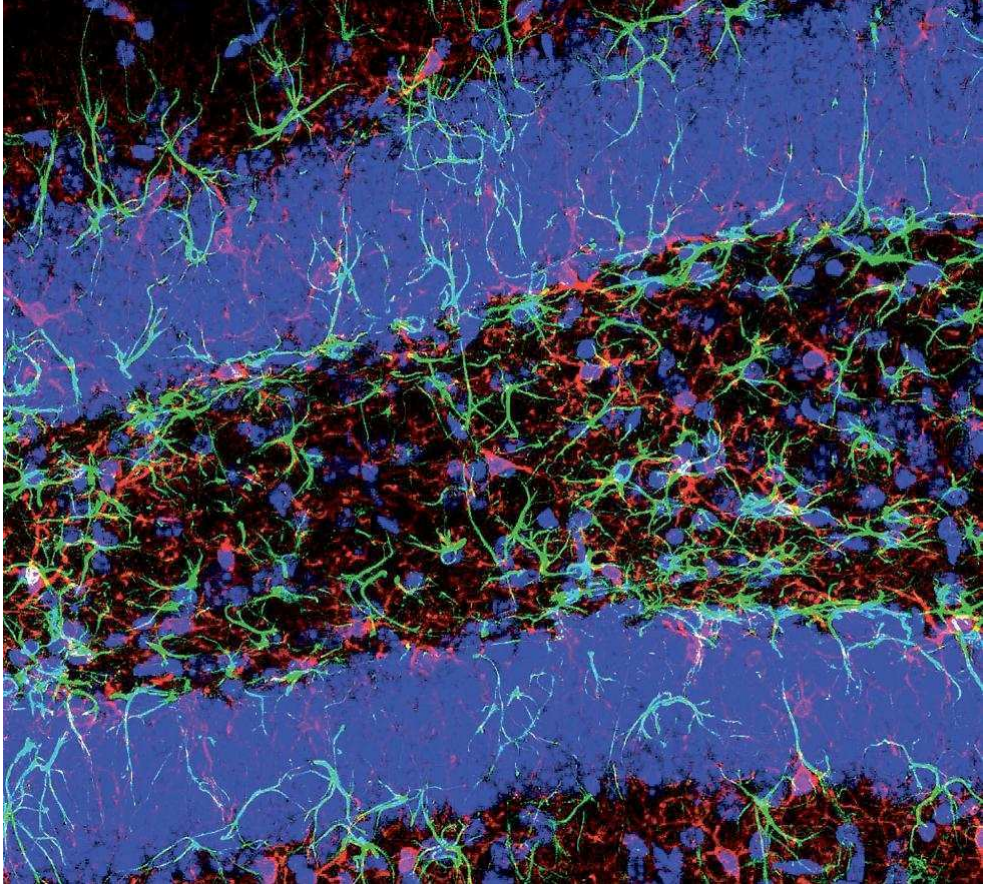
Per parte sua, il sistema immunitario ha due componenti principali, l'immunità innata e l'immunità adattativa. L'immunità innata è l'elemento più primordiale, essendosi evoluto miliardi di anni fa nelle prime cellule per rilevare e inviare forze nemiche rapidamente, ma senza molta precisione. È la prima linea di difesa contro gli agenti patogeni, e consiste di barriere fisiche e chimiche verso di essi, come pure di cellule che li uccidono. L'immuni-

IN BREVE

Che nelle persone sane il cervello e il sistema immunitario non interagiscano è un'idea sostenuta da tempo.

In anni recenti, tuttavia, alcuni ricercatori hanno accumulato numerose prove secondo cui i due sistemi sono strettamente collegati.

Gli scienziati hanno ancora molte cose da imparare in questo nuovo campo, la cosiddetta neuroimmunologia. Tuttavia le scoperte in neuroimmunologia potrebbero sfociare in nuove idee, e terapie, per diverse malattie neurologiche.



Cervello a colori.
Una sezione di tessuto cerebrale osservata con un microscopio a fluorescenza. Si possono osservare due tipi di cellule gliali, cioè astrociti (*in verde*) e microglia (*in rosso*), e neuroni (*nuclei cellulari in blu*).

Dr. Chris Henstridge/SPL/AGF

tà innata avvia la risposta infiammatoria, per cui i globuli bianchi del sangue sciamano nella sede dell'infezione e sfornano proteine che inducono calore e inturgidimento, per confinare e distruggere gli agenti patogeni. L'immunità adattativa, che si è evoluta dopo la componente innata, consiste principalmente di cellule chiamate linfociti T e linfociti B, che riconoscono uno specifico agente patogeno e organizzano un attacco mirato contro di esso. In un mondo perfetto, tutte le cellule immunitarie adattative prenderebbero di mira solo i patogeni esterni e non toccherebbero le proteine o le cellule proprie del corpo. Ma in circa l'1 per cento della popolazione l'immunità adattativa perde il controllo e attacca cellule nei tessuti propri dell'individuo, causando malattie autoimmuni come la sclerosi multipla, l'artrite e alcune forme di diabete, tra molte altre. Eppure il sistema ha un tasso di successo impressionante, colpendo in modo esclusivo gli invasori estranei nel 99 per cento degli individui.

I ricercatori hanno a lungo pensato che il sistema immunitario funzionasse limitandosi a distinguere i costituenti propri di un organismo da quelli non suoi, il *non-self*. Poco alla volta, però, sono emerse teorie più complesse. Negli anni novanta Polly Matzinger, del National Institute of Allergy and Infectious Diseases, avanzò la tesi che il sistema immunitario riconoscesse, oltre agli invasori estranei, anche un danno ai tessuti. Questa teoria è stata corroborata dalla successiva identificazione di molecole rilasciate da tessuti lesionati, infettati o altrimenti danneggiati. Queste molecole attirano l'attenzione delle cellule immunitarie, scatenando eventi a cascata che sfociano nell'attivazione del sistema immunitario, nel reclutamento di cellule immunitarie nella sede della lesione e nell'eliminazione (o perlomeno in un suo tentativo) dell'invasore o della lesione che hanno causato l'allarme.

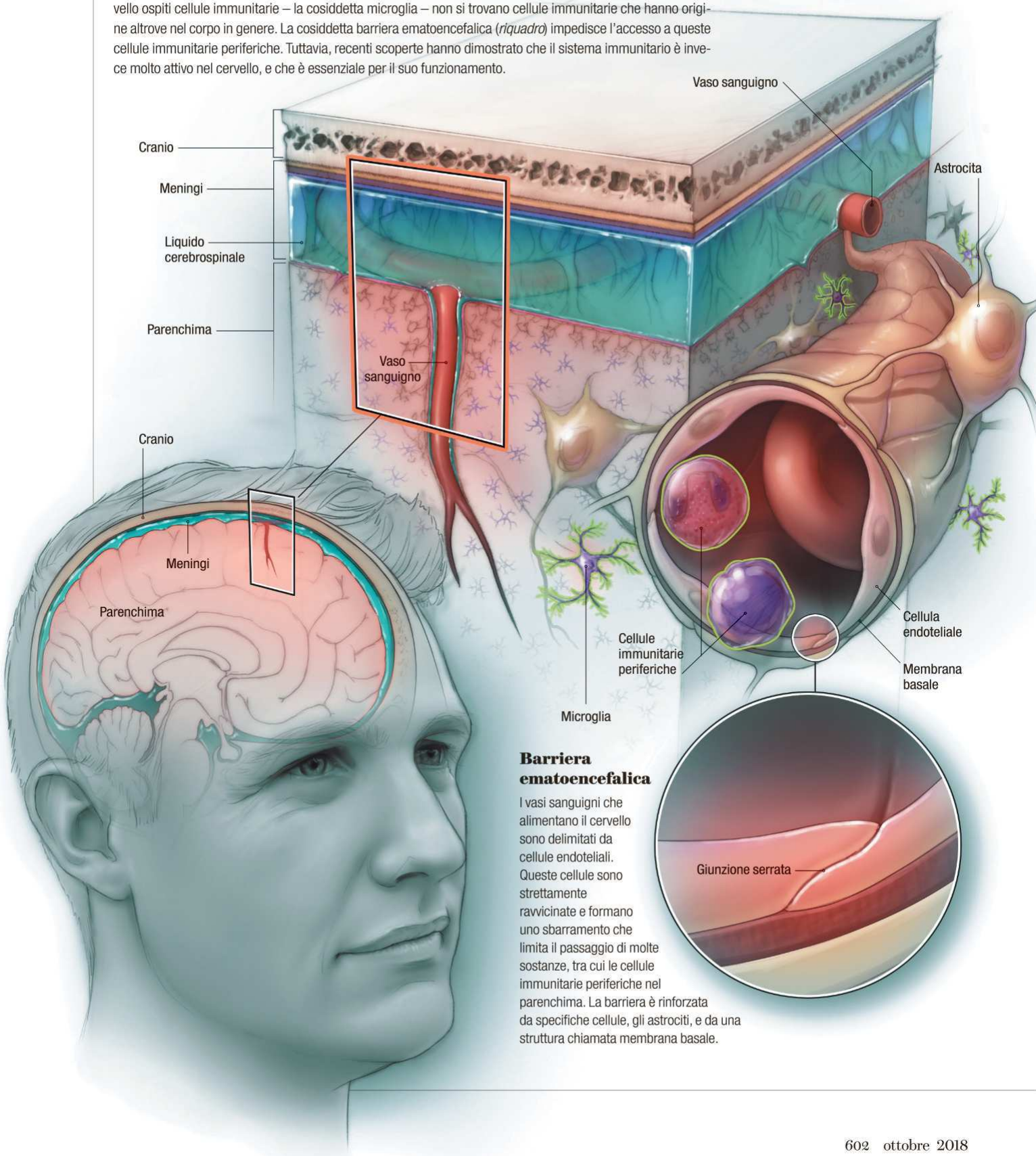
Inoltre, altri esperimenti hanno riscontrato che l'eliminazione dell'immunità adattativa accelera lo sviluppo e la crescita dei tumori e rallenta il processo di guarigione dei tessuti danneggiati. Queste scoperte mostrano che il sistema immunitario – un tempo considerato focalizzato come una sorta di laser nella protezione del corpo dagli invasori estranei – ha in realtà una portata molto maggiore: regolare i tessuti del corpo per aiutarli a conservare l'equilibrio nonostante ogni tipo di trauma, che abbia un'origine esterna oppure interna.

Eppure, fino a poco tempo fa gli scienziati erano piuttosto sicuri che questa sfera d'azione non si estendesse al cervello. Già negli anni venti i ricercatori avevano osservato che, se pure il cervello sano ospitava cellule immunitarie native del SNC – la cosiddetta microglia – di solito non si trovavano cellule immunitarie provenienti da altre parti del corpo (le cosiddette cellule immunitarie periferiche), perché la barriera ematoencefalica ne impedisce l'ingresso. Negli anni quaranta il biologo Peter Medawar, che per le sue ricerche ottenne il premio Nobel, dimostrò che il corpo è più lento nel rigettare un tessuto estraneo innestato nel cervello rispetto a innesti collocati in altre parti del corpo. Il cervello è «immunologicamente privilegiato», ragionò Medawar, impermeabile al sistema immunitario. Tuttavia, cellule immunitarie periferiche compaiono nel parenchima e nel midollo spinale di pazienti con infezioni o lesioni cerebrali. Studi con i topi dimostrano, inoltre, che queste cellule causano la paralisi debilitante associata con la malattia. Basandosi su queste scoperte, gli scienziati ipotizzarono che il cervello e il sistema immunitario fossero senza relazione tra loro, tranne nei casi di patologie che permettono alle cellule immunitarie di entrare nel SNC e di aggredire i neuroni.

Resta incerto come esattamente le cellule immunitarie facciano breccia nella barriera ematoencefalica in questi casi. Tuttavia potrebbe essere che la barriera venga attivata nel corso delle malattie cerebrali con modalità che permettono alle cellule immunitarie di attraversarla. In uno studio fondamentale pubblicato nel 1992, Lawrence Steinman, della Stanford University, ha scoperto che nei topi e nel caso di un disturbo analogo alla sclerosi multipla cellule immunitarie periferiche generano una proteina, la cosiddetta integrina $\alpha 4\beta 1$, che permette loro di penetrare nella barriera. Un far-

Il cervello e il sistema immunitario

Si è a lungo pensato che nelle persone sane il cervello fosse interdetto al sistema immunitario. Sebbene il cervello ospiti cellule immunitarie – la cosiddetta microglia – non si trovano cellule immunitarie che hanno origine altrove nel corpo in genere. La cosiddetta barriera ematoencefalica (*riquadro*) impedisce l'accesso a queste cellule immunitarie periferiche. Tuttavia, recenti scoperte hanno dimostrato che il sistema immunitario è invece molto attivo nel cervello, e che è essenziale per il suo funzionamento.



Barriera ematoencefalica

I vasi sanguigni che alimentano il cervello sono delimitati da cellule endoteliali. Queste cellule sono strettamente ravvicinate e formano uno sbarramento che limita il passaggio di molte sostanze, tra cui le cellule immunitarie periferiche nel parenchima. La barriera è rinforzata da specifiche cellule, gli astrociti, e da una struttura chiamata membrana basale.

Aggirare la barriera

Fino a poco tempo fa i ricercatori pensavano che le membrane che circondano il parenchima, le cosiddette meningi, avessero essenzialmente la funzione di trasportare il liquido cerebrospinale in cui galleggia il cervello **A**. Ma nuove scoperte mostrano che la storia è più complessa **B**.
Le meningi contengono vasi linfatici che rimuovono le tossine e altri prodotti di scarto dal parenchima e possono trasmettere al sistema immunitario informazioni sulle infezioni nel cervello. Inoltre, le meningi ospitano una schiera di cellule immunitarie periferiche che comunicano con il cervello mediante proteine da esse prodotte, le citochine.
Il liquido cerebrospinale prodotto dalle meningi entra nel parenchima attraverso spazi che circondano i vasi sanguigni, i quali riforniscono il cervello e possono perciò trasportare le citochine dalle cellule immunitarie periferiche sino al profondo del cervello, influenzando il comportamento dei neuroni.

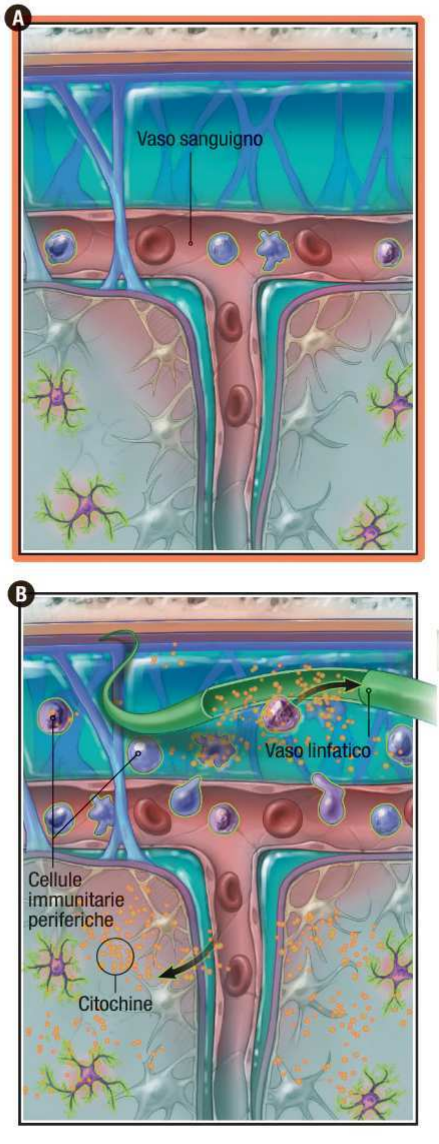


Illustrazione di David Cheney

maco che inibisce questa interazione, il Tysabri, è oggi il trattamento più potente per i pazienti affetti da sclerosi multipla.

La teoria secondo cui il cervello e il sistema immunitario conducono vite separate ha prevalso per decenni, non senza lo scetticismo degli scienziati. Alcuni di loro si erano domandati per quale ragione, se il sistema immunitario è la principale forza da combattimento del corpo contro gli agenti patogeni, il cervello dovrebbe rinunciare a un rapido accesso a un simile sistema di difesa. I sostenitori della teoria rispondevano che la barriera ematoencefalica impedisce l'ingresso nel cervello di buona parte dei patogeni, quindi che il cervello non ha bisogno di ospitare il sistema immunitario, specialmente se la sua residenza in loco potrebbe causare problemi, ingaggiando battaglie con i neuroni, per esempio.

Gli scettici hanno puntualizzato che diversi virus, come pure alcuni batteri e parassiti, possono accedere al cervello. E, lungi dall'ignorare queste trasgressioni, il sistema immunitario risponde, precipitandosi nel cervello per avere il controllo dell'agente invasore. Forse la scarsità di agenti patogeni nel cervello non dipende dalla grande efficacia della barriera ematoencefalica nell'operare da filtro, ma dal fatto che il sistema immunitario è molto efficace nel combatterli. In effetti, alcuni studi hanno dimostrato che pazienti immunosoppressi soffrono di complicazioni che colpiscono spesso il SNC.

Riscrivere i libri di testo

Poco alla volta, queste argomentazioni e una consapevolezza crescente del ruolo del sistema immunitario nell'azione di sostegno ai tessuti del corpo danneggiati hanno indotto i ricercatori a riesaminarne il ruolo nel sistema nervoso centrale. Quando hanno osservato più attentamente il SNC di ratti e topi con lesioni al midollo spinale, gli scienziati hanno scoperto che era invaso da cellule immunitarie infiltrate. In esperimenti condotti alla fine degli anni novanta Michal Schwartz, del Weizmann Institute di Rehovot, in Israele, ha dimostrato che eliminare le cellule immunitarie dopo una lesione al SNC aggrava la perdita di neuroni e la funzione cerebrale, e che viceversa potenziare la risposta immunitaria accresce la sopravvivenza dei neuroni.

Più recentemente, gli studi di Stanley Appel, dello Houston Methodist Hospital, e Mathew Blurton-Jones, dell'Università della California a Irvine, hanno scoperto che la sclerosi laterale amiotrofica e la malattia di Alzheimer hanno uno sviluppo più grave e rapido nei topi geneticamente modificati per essere privi di immunità adattativa rispetto ai topi normali; e che ristabilire l'immunità adattativa rallenta la progressione di queste malattie. Questi risultati indicano che le cellule immunitarie aiutano i neuroni, invece di limitarsi a danneggiarli come si pensava in precedenza.

Così d'impatto, l'intervento del sistema immunitario per proteggere il SNC danneggiato sfugge a una comprensione. Quando il SNC subisce un trauma, il sistema immunitario organizza una risposta infiammatoria, rilasciando sostanze tossiche per eliminare le sostanze patogene e, in alcuni casi, per rimuovere le cellule danneggiate, ristabilendo l'equilibrio. Tuttavia la risposta infiammatoria è uno strumento impreciso, che elimina gli elementi buoni insieme a quelli cattivi. In altri tessuti, questo danno collaterale è tollerabile perché i tessuti si rigenerano prontamente. Ma il tessuto del SNC ha una capacità di ricrescita limitata, e questo significa che il danno causato dalla risposta immunitaria è in genere permanente. Considerando la capacità dell'attività immunitaria di produrre danni nel cervello, i costi del suo intervento sembrano prevalere sui benefici. Ma forse la risposta immunitaria osserva-

ta dopo una lesione al sistema nervoso centrale è semplicemente un'amplificazione della risposta immunitaria che favorisce la funzionalità del cervello in condizioni normali.

Studi recenti avvalorano questa teoria. Collaborando con Hagit Cohen, della Ben-Gurion University del Negev, in Israele, e con Schwartz abbiamo rivelato che topi sottoposti a stimoli stressanti, come l'esposizione all'odore di loro predatori naturali, sviluppano una risposta immediata allo stress: in questo caso, nascondersi in un labirinto invece di esplorarlo. Nel 90 per cento dei casi la risposta dura per ore o per giorni; ma per l'altro 10 per cento la risposta dura giorni o settimane. I topi di quest'ultimo gruppo possono quindi servire come modello animale del disturbo da stress post-traumatico (PTSD). L'aspetto curioso è che quando si confrontano i topi senza immunità adattativa con i topi dotati di un sistema immunitario normale l'incidenza del PTSD aumenta di diverse volte. Questi risultati offrono la prima indicazione che il sistema immunitario assiste il cervello, oltre che durante infezioni e lesioni, anche sotto stress psicologico. Epoi ci sono prove di un legame tra il sistema immunitario e il PTSD nell'essere umano.

Sebbene non siano snervanti come l'esposizione a un predatore, i compiti che richiedono apprendimento sono pur sempre stressanti. Basti pensare alla preparazione di un esame o anche solo a cucinare una nuova ricetta. E se l'incapacità di affrontare lo stress ostacolasse addirittura il processo di apprendimento? Per verificare questa ipotesi, con i miei colleghi ho confrontato – in vari test comportamentali – la prestazione di topi privi di immunità adattativa con quella di un gruppo di controllo. E abbiamo scoperto che, a differenza dei controlli, i topi senza immunità adattativa se la cavavano male in compiti che richiedevano l'apprendimento e la memoria spaziali, come scoprire la posizione di una piattaforma nascosta in una grossa vasca. Da allora abbiamo dimostrato che i topi senza immunità adattativa manifestano, oltre a un comportamento di apprendimento difettoso, anche un comportamento sociale compromesso, preferendo trascorrere il tempo con un oggetto inanimato, anziché con un altro topo.

I vasi linfatici del cervello hanno rivelato come il sistema immunitario riceve informazioni sul danno tissutale del SNC

Aspetti ignoti

Se da un lato si sono accumulate prove che il sistema immunitario svolge ruoli importanti in differenti funzioni del cervello, dall'altro sono emersi nuovi aspetti ignoti. Uno dei quali è come il sistema immunitario esercita la sua influenza sul SNC. In fondo, se escludiamo la microglia, nessuna cellula immunitaria è presente nel parenchima di individui sani. Indizi sono derivati da proteine, le citochine, che sono prodotte da cellule immunitarie e influenzano il comportamento di altre cellule. Le citochine rilasciate da cellule immunitarie periferiche possono influenzare il cervello; probabilmente vi accedono attraverso aree cerebrali prive della consueta barriera ematoencefalica e potrebbero avere un impatto diretto sul cervello tramite il nervo vago, che va dal cervello all'addome. Le prove disponibili suggeriscono che le cellule immunitarie nelle meningi – le membrane che circondano il cervello – siano a loro volta la fonte delle citochine che potrebbero influenzare la funzione del cervello. Capire come queste cellule immunitarie entrano nelle meningi, come vi circolano e come producono le loro citochine è un tema di intensa ricerca.

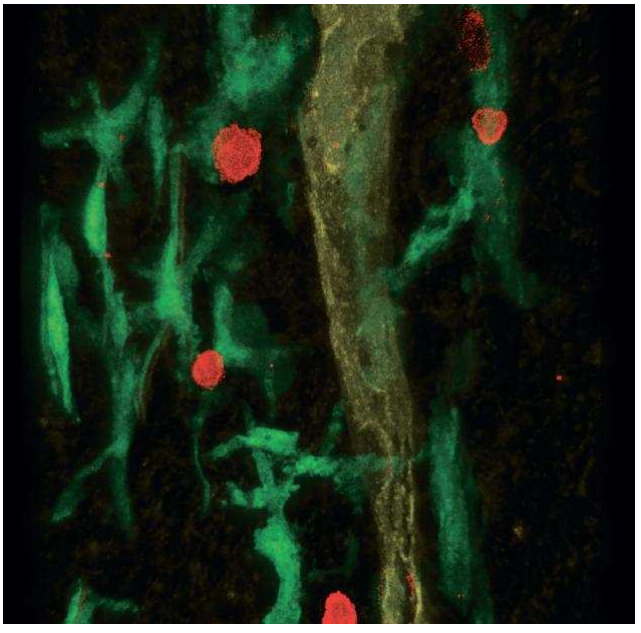
Recentemente con i miei colleghi abbiamo fatto una curiosa scoperta, rilevante per queste domande: riguarda come il corpo si libera delle tossine e dei rifiuti. I tessuti del corpo contengono due tipi di vasi. Come una casa ha due tipi di tubazioni, uno per portare l'acqua e l'altro per lo scarico, allo stesso modo i nostri tessuti hanno i vasi sanguigni che li riforniscono di ossigeno e di sostanze nutritive e i vasi linfatici che rimuovono le tossine e altri materiali di scarto prodotti dal tessuto. I vasi linfatici trasportano anche antigeni – sostanze capaci di indurre una risposta immunitaria – dai tessuti verso linfonodi di drenaggio del tessuto, dove sono presentati a cellule immunitarie che li esamineranno e ne ricaveranno informazioni sul tessuto drenato. Qualora si rilevi un problema – come una lesione o un'infezione nel tessuto – le cellule immunitarie si attivano e migrano verso il tessuto interessato per provare a risolvere il problema.

Per via della perdurante convinzione che il cervello normale sia scollegato dal sistema immunitario e del fatto che il parenchima non contiene vasi linfatici, gli scienziati hanno presunto per lungo tempo che né il cervello né il resto del SNC fossero serviti dalla rete linfatica. Eppure questa convinzione poneva un problema: per quale ragione il cervello non dovrebbe riferire al sistema immunitario potenziali problemi che lo stanno riguardando, e che il sistema stesso potrebbe aiutare a risolvere? E come, nondimeno, il sistema immunitario riceve informazioni sulle infezioni cerebrali? Inoltre, da alcuni studi è emerso che lesioni cerebrali provocano una forte risposta immunitaria in linfonodi situati all'esterno del cervello. Come è possibile?

La presenza di vasi linfatici e di cellule immunitarie nelle meningi significa che i ricercatori devono ripensare l'esatta funzione di queste membrane. Secondo la spiegazione tradizionale, esse si limitano a trasportare il liquido cerebrospinale, che alimenta il cervello. Ma considerando quanto sono addensate le cellule che formano il cervello e come sono sensibili i suoi neuroni quando scaricano i loro segnali elettrici, forse trasferire tutta l'attività immunitaria del cervello ai suoi confini, alle meningi, è stata la soluzione dell'evoluzione a un problema: permettere al sistema immunitario di essere al servizio dell'intero sistema nervoso centrale, senza interferire con la funzione dei neuroni.

La scoperta dei vasi linfatici del cervello ha rivelato come il sistema immunitario riceve informazioni sul danno tissutale nel SNC. Per capire come le cellule immunitarie delle meningi comunichino con il parenchima e lo influenzino da lontano, dobbiamo rivolgerci a un altro ramo del sistema di rimozione delle sostanze di scarto dal cervello. In aggiunta alla rete linfatica da noi scoperta, il SNC ha una rete di canali nel parenchima attraverso cui il liquido cerebrospinale accede al cervello. Maiken Nedergaard, dell'Università di Rochester, negli Stati Uniti, ha soprannominato questa rete sistema glinfatico. Il liquido entra nel parenchima attraverso spazi che circondano le arterie che affluiscono al cervello dalle meningi e lava i tessuti, per essere poi recuperato negli spazi circostanti le vene e infine restituito al bacino di liquido cerebrospinale nelle meningi. Questo flusso del liquido trasporta molecole immunitarie, come le citochine, dalle meningi nel parenchima, dove possono esercitare il loro influsso.

Studi sulle citochine hanno chiarito come esse modulano il comportamento. Per esempio Robert Dantzer, oggi all'MD Anderson Cancer Center dell'Università del Texas, e Keith Kelley, dell'Università dell'Illinois a Urbana-Champaign, hanno determinato



Il tessuto marcato evidenzia le cellule T (*in rosso*) e i macrofagi (*in verde*), oltre ai vasi linfatici nelle meningi (*in giallo*).

Antoine Louveau, University of Virginia School of Medicine

che l'interleuchina-1 beta innesca il *sickness behavior*, il nome dato a un complesso di comportamenti che le persone manifestano solitamente quando sono ammalate: come dormire eccessivamente, mangiare di meno e ritirarsi dal contatto sociale. Il mio stesso gruppo, inoltre, ha recentemente dimostrato che l'interferone gamma, una citochina prodotta dalle cellule T delle meningi, interagisce con i neuroni nella corteccia prefrontale del cervello, la quale, tra le altre funzioni, è implicata nel comportamento sociale. Con sorpresa, questa citochina non esercita il suo influsso attraverso le cellule immunitarie residenti nel cervello (la microglia), ma tramite i neuroni che controllano i circuiti associati al comportamento sociale. In effetti, le citochine sono essenziali per il funzionamento adeguato di questi circuiti: in assenza delle cellule T o del loro interferone gamma, questi neuroni non regolano i circuiti correttamente, e ne consegue una loro iperattività, un disturbo legato a deficit sociali. Così, una citochina prodotta da cellule immunitarie nelle meningi può cambiare l'attività dei neuroni, modificando pertanto la funzione del circuito e cambiando il comportamento sottostante.

L'interferone gamma non è l'unica molecola immunitaria che modifica il funzionamento del cervello. Mario de Bono, dell'MRC Laboratory of Molecular Biology, nel Regno Unito, ha dimostrato con i colleghi che un'altra citochina, l'IL-17, attiva neuroni sensoriali nel verme nematode *Caenorhabditis elegans* e modifica il comportamento di sensibilità all'ossigeno di questa creatura. Un recente lavoro di Gloria Choi e dei suoi collaboratori al Massachusetts Institute of Technology ha dimostrato poi che l'IL-17 interagisce con neuroni nella corteccia cerebrale e modifica i comportamenti legati al disturbo dello spettro autistico.

Un nuovo organo di senso?

Ci si potrebbe chiedere: perché un organo potente come il cervello deve essere controllato o sostenuto dal sistema immunitario per funzionare adeguatamente? Ho un'ipotesi sul motivo per cui i due sistemi sono così strettamente legati. Abbiamo cinque sensi classici: olfatto, tatto, gusto, vista e udito. Il senso della posizione e del movimento, o propriocezione, è spesso definito il sesto senso. Questi sensi riferiscono al cervello informazioni sul nostro ambiente esterno e interno, offrendo una base su cui il cervello calcola l'attività necessaria per preservare se stesso. In questi ambienti abbondano microrganismi, ed è ragionevole che la capacità di percepirli – e di difendersi da essi quando è necessario – sia centrale per la sopravvivenza. Il nostro sistema immunitario eccelle proprio in questo, grazie alla capacità dell'immunità innata di riconoscere in modo generale modelli e tipi di invasori, e al talento dell'immunità adattativa per riconoscere invasori specifici. Suppongo che il ruolo che definisce il sistema immunitario sia rivelare microrganismi e informare il cervello su di essi. Se, come ipotizzo, la risposta immunitaria è integrata nel cervello, ciò farebbe di essa il settimo senso.

Ci sono modi per verificare questa ipotesi. Poiché i circuiti cerebrali sono interconnessi, l'interferenza con un circuito particolare influenzerà tutti gli altri. Per esempio, il cibo ha un gusto differente quando il nostro senso dell'olfatto è menomato. Prove che un'interferenza con il sistema immunitario perturbi altri circuiti sosterrebbero la teoria che la risposta immunitaria è un settimo senso innato. Un possibile esempio deriva dal sickness behavior: forse un arrivo travolgente di segnali dal settimo senso che informano il cervello di infezioni patogene tracima e interferisce con i circuiti che modulano la sonnolenza, la fame e così via, durante la malattia, originando questo insieme di cambiamenti comportamentali che si sviluppano negli individui colpiti. In alternativa, l'informazione sui microrganismi trasmessa al cervello dal sistema sensoriale immunitario potrebbe indurre il cervello ad avviare il sickness behavior come protezione degli individui malati, riducendo al minimo l'esposizione ad altri agenti patogeni e conservando energia.

La nostra conoscenza della relazione tra il cervello e il sistema immunitario è ancora agli albori. Non saremmo sorpresi se nuove scoperte in questo campo rivelassero, da qui a dieci o vent'anni, i due sistemi in una luce del tutto differente. Spero tuttavia che la conoscenza fondamentale che abbiamo oggi sia arricchita dai risultati di questa ricerca, invece di essere sovvertita. Una priorità sarà mostrare come le componenti immunitarie e i circuiti neurali sono collegati, interagiscono e dipendono l'uno dall'altro in condizioni normali, come pure di malattia. Conoscere quelle relazioni permetterà ai ricercatori di puntare sui segnali immunitari per il trattamento di disturbi neurologici e mentali. Il sistema immunitario è un bersaglio più accessibile ai farmaci rispetto al sistema nervoso centrale, ed è plausibile che un giorno la riparazione del sistema immunitario con la terapia genica, o persino la sostituzione di un sistema immunitario difettoso mediante il trapianto di midollo osseo, saranno mezzi attuabili per trattare i disturbi cerebrali.

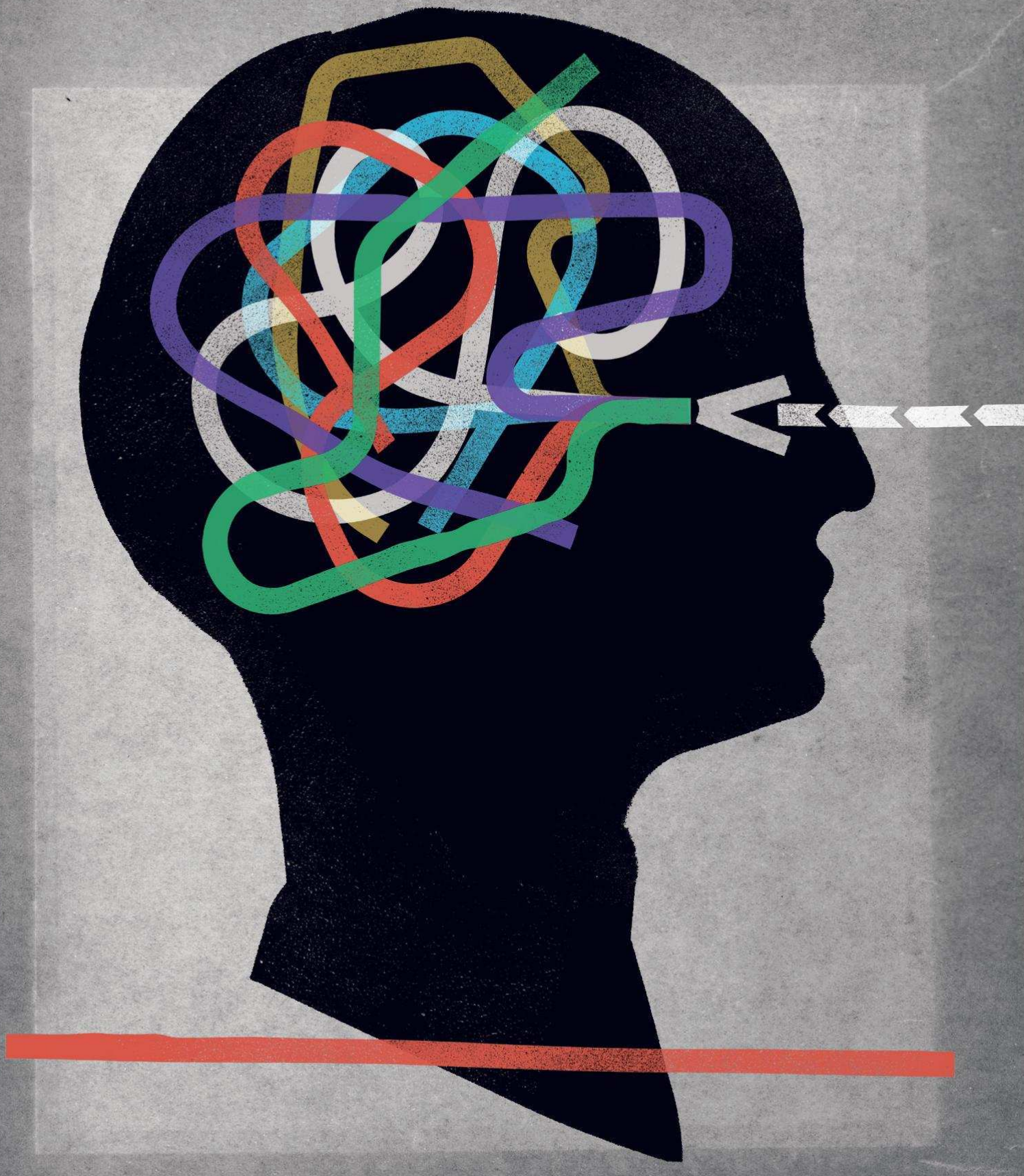
Considerando le innumerevoli alterazioni immunitarie nei disturbi cerebrali, la ricerca sulle interazioni neuroimmunologiche continuerà probabilmente per molti anni a venire e rivelerà a poco a poco misteri persino più profondi del cervello. ■

PER APPROFONDIRE

Structural and Functional Features of Central Nervous System Lymphatic Vessels. Louveau A. e altri, in «Nature», Vol. 523, pp. 337-341, 16 luglio 2015.

Multifaceted Interactions between Adaptive Immunity and the Central Nervous System. Kipnis J., in «Science», Vol. 353, pp. 766-771, 19 agosto 2016.

Immune System: The «Seventh Sense». Kipnis J., in «Journal of Experimental Medicine», pubblicato on line il 16 gennaio 2018.



Il pensiero anti-scientifico visto dalla scienza

Per convincere chi dubita del cambiamento climatico o della validità dell'evoluzione a modificare le proprie convinzioni bisogna superare un insieme di distorsioni cognitive profondamente radicate

di Douglas T. Kenrick, Adam B. Cohen, Steven L. Neuberg e Robert B. Cialdini

IN BREVE

Il pensiero scientifico suscita spesso reazioni ambivalenti: l'avvento di macchine volanti «più pesanti dell'aria» o dello smartphone è accolto con giubilo, ma una scoperta che mette in discussione lo *status quo* politico o religioso può scatenare censura e opposizioni.

Come far sì che i risultati delle ricerche basate sulle evidenze scientifiche siano ascoltati come meritano? Presentare un elenco di fatti non basta, anzi, può essere controproducente, a causa della propensione degli esseri umani a non decidere sempre razionalmente.

Gli psicologi che studiano le modalità del pensiero hanno individuato strategie per contrastare la tendenza a prendere scorciatoie mentali, a rafforzare le nostre convinzioni di partenza e a cedere alle pressioni esercitate dagli altri membri dei gruppi di cui facciamo parte.

Heads of State

Douglas T. Kenrick è docente di psicologia all'Arizona State University. Studia comportamenti che vanno dall'altruismo alle fantasie omicide.

Steven L. Neuberg è Foundation Professor e direttore del Dipartimento di psicologia dell'Arizona State University. Fa ricerca su stereotipi e pregiudizi e sugli effetti della religione sui conflitti.

Adam B. Cohen è docente di psicologia all'Arizona State University. Si occupa delle basi psicologiche delle credenze religiose.

Robert B. Cialdini è Regent Professor Emeritus di psicologia e marketing all'Arizona State University. Studia le ragioni per cui le persone si adeguano alle situazioni della vita quotidiana.

In linea di principio, la scienza dovrebbe restare fuori dalle polemiche partigiane. Dopotutto, l'impresa scientifica giunge ai suoi risultati mettendo alla prova le diverse teorie sul funzionamento del mondo naturale. Prendiamo il delfino: in base al suo aspetto e al suo habitat acquatico, era considerato un pesce. Ma le prove derivanti dall'esame della sua struttura ossea, dall'assenza di branchie e dai geni che ha in comune con altri animali, terrestri e a sangue caldo, hanno portato a classificarlo, senza seri dubbi, fra i mammiferi.

Ma non è sempre è così facile mettersi d'accordo su che cosa sia un fatto e che cosa no. Basta guardare i notiziari per veder attuare politiche che ignorano le prove del cambiamento climatico che si accumulano da decenni. La maggioranza dei cittadini statunitensi rifiuta allegramente di accettare più di un secolo di prove dell'evoluzione per selezione naturale. Ci sono intellettuali e accademici che mettono la parola «scienza» tra virgolette, e c'è gente comune che rifiuta le vaccinazioni per i propri bambini.

I risultati scientifici sono accolti da sempre in modo ambivalente: le carrozze senza cavalli e gli smartphone sono accolti con grandi striscioni di benvenuto, ma un'ostilità altrettanto immediata accoglie le scoperte degli scienziati quando minacciano lo status quo politico o religioso. Una parte della Chiesa britannica si oppose con durezza alla teoria dell'evoluzione di Charles Darwin. Samuel Wilberforce, vescovo di Oxford, domandò a Thomas Huxley, il tenace sostenitore della teoria della selezione naturale, se era per parte di madre o di padre che si vantava di discendere da uno scimmione.

Ai tempi di Galileo, alti esponenti della Chiesa cattolica, che per tanti aspetti erano intellettuali colti e di mentalità aperta, reagirono con scandalo quando gli scienziati resero note le osservazioni celesti che mettevano in discussione la credenza allora prevalente che la Terra fosse il centro dell'universo. Galileo fu confinato in casa e costretto ad abiurare le sue idee.

In linea di principio, il pensiero scientifico dovrebbe giungere alle sue decisioni esaminando tutte le informazioni disponibili su una data questione. Quando si trovano ad affrontare argomentazioni senza un solido fondamento nella logica e nell'evidenza empirica, gli scienziati e i loro sostenitori presumono che chi diffonde queste idee alternative non conosce i fatti o vuole rallentarne la divulgazione per i propri interessi particolari, come i dirigenti dei colossi del tabacco che nascosero i dati sul rapporto tra fumo e cancro ai polmoni, per esempio. Davanti a oppositori irrazionali o tendenziosi, spesso gli scienziati insistono con toni sempre più striduli: e rispondono spiegando i fatti a voce più alta e con più chiarezza, sperando che i loro interlocutori prendano decisioni meglio informate.

Varie linee di ricerca, però, rivelano che limitarsi a snocciolare un elenco di fatti non porta sempre a processi decisionali più obiettivi. In alcuni casi, anzi, questo approccio può essere controproducente. Gli esseri umani sono creature intelligenti e capaci di grandi imprese intellettuali; purtroppo però non siamo completamente razionali quando si tratta di prendere decisioni.

Per capire perché la gente adotta modalità di pensiero irrazionali bisogna combinare conoscenze derivanti da varie branche della psicologia. Ciascuno di noi lavora in un diverso campo degli studi sull'origine delle nostre opinioni viziate. Uno (Cialdini) è un esperto di euristiche, le regole con cui ci aiutiamo a prendere in fretta le decisioni nella vita quotidiana. Un altro (Kenrick) ha studiato come le decisioni vengono distorte da motivazioni sociali quali il desiderio di trovare un partner o quello di proteggere la propria integrità fisica. Un altro ancora – Cohen – ha studiato l'influenza delle credenze religiose sui giudizi. Neuberg, infine, ha studiato le semplici distorsioni cognitive che inducono la gente ad attenersi alle proprie convinzioni preesistenti anche di fronte a nuove prove in contrasto con esse. Tutti abbiamo cercato, in modi diversi, di arrivare a una comprensione più approfondita dei meccanismi psicologici che distorcono la razionalità.

Spiegare perché il pensiero si perda per vie traverse ha un'importanza essenziale per dissipare le false credenze che circolano tra politici, studenti o anche soltanto vicini di casa male informati. Le ricerche, fra cui le nostre, hanno identificato alcuni ostacoli chiave che ci impediscono di pensare in modo chiaro e scientifico. E hanno anche studiato perché nascono questi ostacoli e come si possono affrontare e, da ultimo, superare. Fra le tante difficoltà, ce ne sono tre che risaltano in modo particolare.

- **Le scorciatoie.** Il cervello umano è dotato di un modo rapido e indolore per affrontare il sovraccarico di informazioni. Quando ne siamo sopraffatti, o il tempo stringe, ci affidiamo a semplici euristiche che ci portano per esempio ad accettare l'opinione prevalente nel gruppo o ad affidarci a un esperto.
- **Il pregiudizio di conferma.** Anche con tempo e interesse più che sufficienti per andare oltre le scorciatoie, a volte trattiamo le informazioni più come un avvocato deciso a far assolvere un cri-

Marcia per la scienza a Los Angeles, una delle tante dimostrazioni tenutesi l'anno scorso negli Stati Uniti nel tentativo di accrescere il sostegno per la scienza nella comunità e affrontare questioni come il cambiamento climatico. C'erano anche i sostenitori di Trump, con una propria contro-manifestazione.

Sarah Morris/Getty Images

minale che come un giudice imparziale. Abbiamo una naturale tendenza a prestare più attenzione a determinati risultati che ad altri e, quando le prove sono ambivalenti e non conclusive, a reinterpretarle in modo da ricondurle alle nostre convinzioni di partenza.

- **Gli obiettivi sociali.** Anche quando riusciamo a superare i primi due ostacoli ci sono potenti forme di motivazione sociale che possono interferire con l'analisi obiettiva dei fatti. La tendenza a voler arrivare comunque a una certa conclusione scientifica anziché a un'altra può dipendere da desiderio di prestigio, dal bisogno di conformarsi alle vedute di una certa rete sociale o magari dalla voglia di rendersi desiderabili come partner.

Attenzione alle scorciatoie

Per padroneggiare la scienza è necessario affrontare una serie di concetti difficili. Prendiamo la teoria della selezione naturale di Darwin. Per capirla bisogna prima capire un insieme di premesse logiche: la limitatezza delle risorse favorisce gli individui più capaci di procurarsi cibo, riparo e partner sessuali, il che conduce alla rappresentazione selettiva dei tratti che conferiscono queste capacità nelle generazioni successive. Chi studia la teoria di Darwin deve poi sapere qualcosa di anatomia comparata (la struttura ossea degli esseri umani è più simile a quella delle balene che a quella dei pesci). E, ancora, avere una certa familiarità con l'ecologia, la genetica moderna e la documentazione fossile.

Benché la selezione naturale sia una delle teorie scientifiche più solidamente supportate dai dati che mai siano state proposte, il cittadino medio non si è mai addentrato in libri pieni di prove in merito. Anzi, molte persone specializzate in altri campi scientifici, compresa la ricerca medica, non hanno mai seguito un corso di biologia evoluzionistica. Di fronte a queste difficoltà cognitive, la maggior parte della gente si affida a scorciatoie mentali o ai pronunciamenti degli esperti, due strategie che possono essere entrambe fuorvianti. Oppure si affida – a proprio rischio e pericolo – all'intuizione e all'istinto viscerale.

Usiamo le euristiche perché spesso funzionano bene. Se un computer si guasta, un utente potrebbe impiegare mesi a informarsi su componenti elettronici e collegamenti; oppure può rivolgersi a un tecnico informatico. Se un bambino ha un serio problema di salute, i genitori possono mettersi a studiare la letteratura medica o chiamare un dottore.

A volte però le scorciatoie peggiorano le cose. C'è un classico studio del 1966 dello psichiatra Charles K. Hoflin e dei suoi colleghi sulle conseguenze tremende che può avere il semplice affidarsi al titolo «dottore» per valutare l'autorità di una persona. Nello studio, alcune infermiere di un affollato ospedale ricevevano la telefonata di un uomo che diceva di essere il medico curante di un paziente ricoverato nel loro reparto. Lo sconosciuto al telefono chiedeva all'infermiera di prendere un farmaco di uso poco comune e di somministrarne al paziente una dose pari al doppio della dose massima giornaliera, violando non solo le linee guida chiaramente stampate sulla confezione ma anche la regola dell'ospedale secondo cui per somministrare un medicinale era necessaria una ricetta scritta di pugno dal medico. Qualcuna obiettò? Il 95 per cento delle infermiere obbedì all'ignoto «dottore» senza fare domande; e fu necessario fermarle prima che arrivassero al letto del paziente con un farmaco potenzialmente pericoloso. Quelle infermiere avevano inconsapevolmente applicato l'euristica dell'autorità, fidandosi troppo facilmente di una persona in posizione di responsabilità.

Il pregiudizio di conferma

Quando una questione ci sta abbastanza a cuore, e abbiamo il tempo di pensarci, passiamo dalle euristiche a un'analisi più sistematica degli elementi di prova effettivamente disponibili. Ma anche quando ci sforziamo di avere un punto di vista obiettivo possiamo essere ostacolati dalle conoscenze con cui siamo partiti.

Un'abbondante massa di dati indica che le persone prestano più attenzione agli argomenti che rafforzano ciò che pensano già. Non ci piace essere contraddetti, e tendiamo a provare antipatia per chi sostiene posizioni contrarie alle nostre convinzioni del momento. Ma che cosa succede quando le persone intelligenti sono costrette a prendere in considerazione i dati di entrambe le parti di una questione?

Nel 1979 Charles Lord, allora alla Stanford University, e colleghi hanno fatto un esperimento su studenti della stessa università, che si supponeva fossero in grado di formulare giudizi ragionevoli sull'informazione scientifica. Gli studenti furono esposti, in più riprese, a una serie di prove sull'effetto deterrente della pena di morte. Per esempio leggevano uno studio che metteva in discussione la capacità della pena di morte di prevenire i delitti gravi, paragonando i tassi di omicidi prima e dopo l'introduzione della pena capitale in 14 Stati. In 11 Stati il tasso degli omicidi saliva *dopo* l'adozione della pena di morte, che quindi non aveva avuto alcun potere deterrente. Poi gli studenti ascoltavano le argomentazioni di altri scienziati sui possibili punti deboli delle prove presentate nello studio e subito dopo i ricercatori che lo avevano condotto ribattevano alle critiche.

In seguito agli studenti veniva presentato un secondo studio, che suggeriva una conclusione opposta: la pena di morte dissuade dal commettere crimini. In esso i ricercatori confrontavano i tassi di omicidi in 10 coppie di Stati confinanti con leggi diverse sulla pena capitale. In otto coppie si registravano tassi di omicidi più bassi dove c'era la pena capitale, il che deponeva a favore della pena di morte. Di nuovo, gli studenti ascoltavano osservazioni critiche su questi dati, e poi le risposte alle critiche.

Se gli studenti erano partiti con un'opinione forte, nell'uno o nell'altro senso, per poi fare un'analisi fredda e razionale dei fatti presentati, c'era da attendersi che poi si sarebbero spostati verso una posizione intermedia, visto che avevano appena ascoltato una serie di dati e affermazioni scientifiche che contraddicevano entrambe le posizioni, sia quella favorevole che quella contraria alla pena di morte.

Invece accadde una cosa diversa: gli studenti che prima erano favorevoli alla pena di morte divennero ancora più favorevoli, e chi si opponeva rafforzò la sua opposizione. Risultò chiaro che gli studenti non avevano elaborato le informazioni ricevute in modo imparziale: ritenevano invece che le prove a favore della propria posizione fossero più forti e quelle contrarie più deboli. Si vede dunque che anche quando le argomentazioni contrarie alle nostre convinzioni arrivano a superare i censori interni, siamo inclini a valutarle in modo pesantemente viziato.

Uno studio più recente di Anthony N. Washburn e Linda J. Skitka, entrambi all'Università dell'Illinois, sembra rafforzare i risultati dello studio di Stanford. I ricercatori hanno messo alla prova la teoria secondo cui i conservatori sono più diffidenti dei progressisti verso le prove scientifiche, forse perché presentano rigidità di pensiero e minore apertura alle nuove esperienze. Ciò che hanno scoperto, invece, è che sia chi si colloca a destra che chi si colloca a sinistra rifiuta i risultati scientifici non consoni alla propria ideologia politica. Gli autori hanno fornito a 1347 volontari i dati scientifici a proposito di sei questioni «calde»: cambiamento climatico, controllo delle armi da fuoco, riforma sanitaria, immigrazione, energia nucleare e matrimonio tra persone dello stesso sesso.

Uno sguardo superficiale ai dati tendeva a favorire, nei vari casi, uno dei due schieramenti: per esempio si poteva vedere che il numero totale dei crimini era più alto in città con controlli stringenti sulle armi che in altre con meno controlli. Ma guardandoli più attentamente si vedeva che in realtà i dati favorivano la posizione opposta: per esempio, la percentuale dei delitti calava di più nelle città con controlli stringenti che in quelle senza.

Se il primo frettoloso sguardo ai dati andava a favore delle aspettative del gruppo contrario ai controlli sulle armi, i suoi membri tendevano in genere a fermarsi lì, paghi di aver trovato risultati che confermavano il proprio pregiudizio. Se invece i risultati contraddicevano le convinzioni dei sostenitori delle armi, questi esaminavano con cura i dettagli dello studio fino a che non scoprivano i dati che suggerivano la conclusione opposta. In più, se in seguito i ricercatori dicevano a uno dei gruppi che i risultati erano favorevoli all'altra parte, i suoi membri tendevano a dubitare degli scienziati che avevano condotto quegli studi.

La sfida della pressione sociale

Altri ostacoli vengono dai nostri stessi impulsi sociali, quegli che ci aiutano ad andare d'accordo con gli altri. Si immagini una festicciola in ufficio in cui un collega di lavoro tira fuori un'affermazione sbagliata sul riscaldamento globale o sul rapporto tra vaccini e autismo. Che cosa si fa in queste situazioni? Si ribatte? O si tace per non passare per un guastafeste?

Una massa di dati indica che prestiamo più attenzione alle informazioni che rafforzano quello di cui siamo già convinti

La ricerca sulla tendenza a conformarsi ha da tempo il suo posto negli annali della psicologia. In uno studio del 1951 sulle dinamiche di gruppo, lo psicologo Stanley Schachter osservò ciò che avviene quando un individuo è in disaccordo con le convinzioni della maggioranza. Dopo aver cercato inutilmente di fargli cambiare opinione, gli altri membri del gruppo finivano per troncare le comunicazioni, condannando il dissidente all'ostracismo. Uno studio di *imaging* cerebrale condotto nel 2003 da Kipling D. Williams e colleghi ha trovato che l'ostracismo attiva la porzione dorsale della corteccia del cingolo anteriore, la stessa regione che viene reclutata quando si prova dolore fisico. In uno studio del 2005 un gruppo di ricercatori diretto da Gregory Berns, docente di neuroeconomia alla Emory University, ha trovato che dissentire da un gruppo cui si appartiene è associato a una più intensa attività dell'amigdala, un'area che si attiva in risposta a vari tipi di stress. Avere un'opinione diversa da quella degli altri membri del gruppo, anche se è corretta, fa soffrire dal punto di vista emotivo. Non sorprende quindi che spesso la gente sia riluttante a proporre dati che contraddicono ciò in cui crede il resto del gruppo.

Le pressioni sociali possono anche influenzare il modo in cui elaboriamo le informazioni. Il consenso del gruppo può spingerci a ricorrere a euristiche o ad aggrapparci con forza a una certa opinione, e tutto ciò può interferire con il pensiero obiettivo.

Il nostro gruppo di ricerca ha realizzato uno studio in cui i partecipanti dovevano dare giudizi estetici su alcuni quadri astratti. Poi leggevano un brano destinato a metterli in un determinato stato d'animo: di preoccupazione per la propria incolumità fisica (la storia di una persona che in piena notte si accorge di avere un intruso in casa e il telefono che non funziona) oppure di voglia di romanticismo (la storia di una giornata romantica trascorsa con una persona attraente incontrata in vacanza). In seguito il volontario entrava in una chat virtuale con altri tre partecipanti, e doveva valutare immagini astratte, fra cui ce n'era una che lo stesso volontario aveva in precedenza valutato di livello estetico medio. Prima di esprimere il secondo giudizio, però, veniva a sapere che l'immagine era stata giudicata negativamente dagli altri componenti del gruppo.

I volontari hanno modificato o no il proprio giudizio inizia-

le per conformarsi al resto del gruppo? Le risposte dipendevano dall'atteggiamento mentale che avevano in quel momento. Nelle persone che avevano letto dell'estraneo che irrompeva in casa la probabilità di accodarsi al giudizio della maggioranza era più alta. Quelli esposti alla storia d'amore, invece, rispondevano diversamente a seconda del sesso: le donne si conformavano, gli uomini si contrapponevano.

Altri studi del nostro gruppo hanno trovato che la paura può portare sia gli uomini che le donne a conformarsi alle opinioni del gruppo, mentre le motivazioni sessuali spingono i maschi a distinguersi dal resto del gruppo, forse per accreditarsi come validi partner. In tutti i casi, comunque, le opinioni dei nostri volontari erano condizionate dai loro obiettivi sociali del momento.

Che fare?

Ma se il pensiero scientifico obiettivo trova tanti ostacoli nel modo stesso in cui è fatta la mente umana, bisogna arrendersi e accettare che ignoranza e pregiudizio trionfino in eterno? Niente affatto. Le ricerche di psicologia sociale hanno qualcosa da dire anche su come si possono affrontare euristiche, pregiudizio di conferma e pressioni sociali.

La psicologia sociale suggerisce misure utili per superare gli ostacoli mentali al pensiero scientifico obiettivo

Abbiamo visto che di frequente ci si affida alle euristiche se mancano il tempo o l'interesse a vagliare con attenzione i dati. Ma spesso è possibile sconfiggere queste regole approssimative con interventi semplici. In un esperimento, Joseph W. Alba e Howard Marmorstein, ricercatori di marketing, hanno dato ai partecipanti informazioni su più di una dozzina di caratteristiche di due macchine fotografiche. Il modello A era superiore al modello B solo per quattro aspetti, ma tre di essi erano essenziali per valutare la qualità della macchina: per esempio la precisione dell'esposizione. Del modello B, invece, si diceva che era migliore per otto caratteristiche, tutte però di scarsa importanza; per esempio la presenza di una cinghia a spalla. Alcuni dei partecipanti esaminavano ogni caratteristica per due soli secondi; agli altri si dava più tempo per studiare tutte le informazioni.

Quando avevano solo due secondi per valutare ognuna delle caratteristiche, solo il 17 per cento dei partecipanti preferiva la macchina di qualità più alta, la maggior parte optava per quella con più funzioni poco importanti. Quando però si dava loro più tempo e la possibilità di confrontare direttamente le due fotocamere, oltre due terzi preferivano quella con le poche caratteristiche chiave da cui dipendeva la qualità complessiva. Questi risultati fanno pensare che quando si presentano dati complicati è necessario dare il tempo di passare da un'euristica a una modalità di pensiero sistematica che consente una migliore valutazione complessiva.

Il pregiudizio di conferma può essere superato cambiando il punto di vista. Gli stessi ricercatori di Stanford che hanno studiato gli atteggiamenti verso la pena capitale hanno lavorato anche su come cambiarli. Ad alcuni studenti hanno detto di restare obiettivi e valutare le prove in modo imparziale nel prendere un'ipotetica decisione legata alla pena di morte, ma queste istruzioni non hanno avuto alcun effetto. Ad altri studenti è stato chiesto invece di fare l'avvocato del diavolo contro se stessi, riflettendo su quale sarebbe stata la loro opinione se la ricerca sulla pena capitale avesse contraddetto la loro posizione. D'improvviso il pregiudizio iniziale spariva: gli studenti non usavano più i nuovi dati per rafforzare le posizioni iniziali.

Un modo per contrastare le pressioni sociali è verificare in primo luogo se davvero il gruppo è tutto concorde. Se qualcuno dissente da un'opinione erronea, a volte può aprire la mente ad altri del gruppo. In un articolo lo psicologo sociale Solomon E. Asch descriveva studi sul conformismo da cui risultava che se già una sola persona del gruppo dissentiva dalla maggioranza il consenso si sgretolava. Analogamente, nel celebre studio di Stanley Milgram sull'obbedienza – in cui i partecipanti erano indotti a credere che stavano somministrando dolorose scosse elettriche a una persona con problemi cardiaci – l'obbedienza cieca scompariva se qualcun altro nel gruppo sceglieva di disobbedire.

La paura accresce la tendenza al conformismo. Vale a dire che se, per esempio, si vuole persuadere qualcuno a ridurre le emissioni di gas serra, si dovrà rifletterci su, prima di spaventarlo: un messaggio che susciti la paura di un futuro distopico può funzionare per chi già accetta la realtà del cambiamento climatico ma probabilmente sarà controproducente per uno scettico.

Abbiamo dato qualche semplice suggerimento per superare gli ostacoli psicologici che incontra il pensiero scientifico obiettivo. C'è un'ampia letteratura sulla persuasione e l'influenza sociale che potrebbe essere molto utile a chi tenta di comunicare con gruppi con idee sfacciatamente opposte alle prove scientifiche. Da parte loro gli scienziati devono adottare un approccio più sistematico nella raccolta di dati sull'efficacia delle diverse strategie per confrontarsi con il pensiero antiscientifico su questioni specifiche. È essenziale capire se chi resiste anche di fronte a prove solide lo fa per pensiero euristico, pregiudizio sistematico o per motivi di tipo sociale.

Tutto ciò è essenziale perché le convinzioni antiscientifiche possono portare a ridurre i fondi per la ricerca, e quindi a non poter capire appieno fenomeni con un effetto importante sul benessere della collettività. Negli ultimi anni negli Stati Uniti sono diminuiti i finanziamenti federali per gli studi sull'impatto delle armi da fuoco in casa e sulla riduzione degli effetti dannosi dell'inquinamento dell'aria. Un'arma in casa è spesso coinvolta nei suicidi giovanili, e c'è uno schiacciante consenso scientifico sull'esigenza di misure immediate per affrontare il riscaldamento del pianeta.

È facile sentirsi impotenti davanti alla riluttanza delle persone ad accogliere le nuove scoperte della scienza. Ma c'è spazio per l'ottimismo: oggi la maggioranza dei compatrioti di Galileo, e persino la Chiesa, accetta che la Terra gira intorno al Sole; e la maggior parte dei compatrioti di Darwin sostiene la teoria dell'evoluzione. Noi siamo fiduciosi: se gli scienziati faranno proprie le indicazioni degli studi sui meccanismi psicologici che ostacolano il ragionamento obiettivo, più gente accetterà i dati obiettivi su come funzionano il mondo e la natura. ■

PER APPROFONDIRE

Influence: The Psychology of Persuasion. Cialdini R.B., edizione rivista, Harper Business, 2009.

The Rational Animal: How Evolution Made Us Smarter Than We Think. Kenrick D.T. e Griskevicius V., Basic Books, 2013.

Mindware: Tools for Smart Thinking. Nisbett R.E., Farrar, Straus and Giroux, 2015.

Attitude Roots and Jiu Jitsu Persuasion: Understanding and Overcoming the Motivated Rejection of Science. Hornsey M.J. e Fielding K.S., in «American Psychologist», Vol. 72, n. 5, pp. 459-473, luglio-agosto 2017.

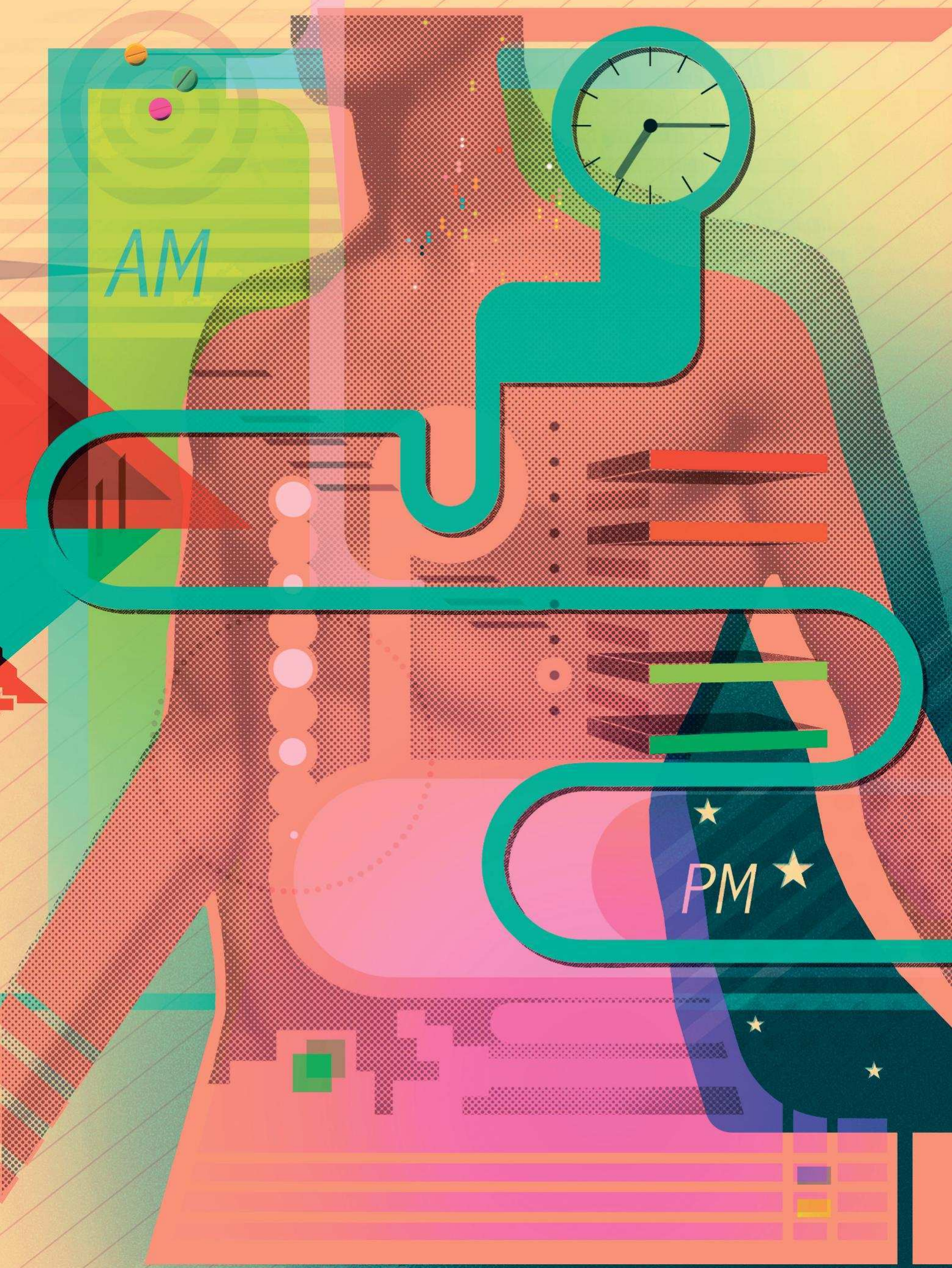
BIOLOGIA

I cicli dell'organismo: dalla medicina popolare alla scienza moderna

Gli orologi cellulari

di Veronique Greenwood

Illustrazione di Mark Allen Miller


AM
PM

Veronique Greenwood, scrittrice e saggista scientifica, pubblica su diverse testate, tra cui «New York Times», «The Atlantic» e «National Geographic».

Nel cuore di una notte medievale, un monaco inizia ad ansimare e lancia un grido di paura. I confratelli chiamano il cerusico, che lo conforta come può. L'asma è un mostro notturno, come sa bene il cerusico. Ma in questo ipotetico scenario, che probabilmente nel corso dei secoli si è presentato in migliaia di stanze buie e di bui dormitori, l'unica possibilità è attendere che i sintomi passino.

Grazie ad antichi trattati di medicina sappiamo che i medici avevano capito già molto tempo fa che alcune malattie variano a seconda dell'ora del giorno. Nel V secolo il medico romano Celio Aureliano scrisse che gli attacchi di asma erano più frequenti dopo il tramonto. Nel 1568 il medico tedesco Christopher Wirsung precisò persino che si verificavano tra le due e l'alba. Ed era anche stato osservato che la pressione sanguigna, il ritmo cardiaco e l'insorgenza di dolori al petto e infarti seguono determinati ritmi.

Naturalmente queste acute osservazioni venivano registrate insieme a suggerimenti entrati da tempo a far parte del folclore. Aureliano, per esempio, in caso di mal d'orecchio invitava i suoi lettori a ricoprire l'area dolente con un impasto di zafferano, aceto, mirra, mela cotogna e svariate altre sostanze, che potevano rivelarsi utili oppure no. E Wirsung era certo che i cattivi odori fossero nocivi per il cuore.

Solo alcuni secoli dopo gli scienziati hanno iniziato a prendere in considerazione la possibilità di sfruttare i ritmi dell'organismo per rendere più efficaci le terapie. Il biologo Franz Halberg è stato uno dei principali promotori dello studio di quella che chiamò «cronobiologia», cioè la fluttuazione regolare dei valori biologici nel tempo in singole persone e persino in singole cellule. Prima, però, lui e gli altri cronobiologi dovevano convincere i colleghi e l'opinione pubblica che la cronobiologia era una scienza seria.

Nel 1978, quando Halberg fu intervistato dalla rivista «People», andava molto di moda il sistema dei cosiddetti «bioritmi»: in base alla data di nascita di una persona si costruiva un grafico di tre linee che pretendevano di rappresentare una condizione intellettiva, fisica ed emotiva con andamento ciclico ascendente e discendente. Alcune squadre di football usavano i bioritmi per pianificare le tattiche di gioco. Pare che i bioritmi avessero presagito l'infarto fatale di Clark Gable. Per un certo periodo la gente usò i bioritmi perfino per calcolare quando avere un rapporto sessuale, nella speranza di influenzare il sesso del nascituro.

Halberg sottolineava che l'oggetto dei suoi studi non aveva nulla a che fare con i bioritmi, che definiva «stupidi». «Troviamo cicli in ogni sistema dell'organismo», dichiarò Halberg, deceduto nel 2013, al giornalista di «People». «Se ne possono scoprire, misurare ed eventualmente sfruttare molti altri. Dalla scelta dell'ora-

IN BREVE

Si stima che nei mammiferi circa l'82 per cento dei geni sia espresso secondo un andamento ciclico di alti e bassi. Nella biologia esiste quindi una componente temporale.

Le implicazioni per la medicina sono molte. Cinquantasei dei 100 farmaci più diffusi agiscono su proteine che vengono espresse secondo un ritmo temporale, di conseguenza l'orario della loro somministrazione è rilevante.

Il settore emergente della cronomedicina sta testando terapie a tempo per malattie come il cancro e l'artrite reumatoide, per aumentare al massimo sicurezza ed efficacia.

Il monitoraggio personalizzato dei ritmi circadiani potrebbe determinare orari ottimali diversi di somministrazione da persona a persona. Tuttavia, la cronomedicina non è ancora entrata a far parte della pratica clinica.

rio di un pasto alla somministrazione di un farmaco oncologico, lavorare in armonia con i ritmi del corpo, invece che in contrasto con essi, può fare la differenza tra la salute e la malattia, e perfino tra la vita e la morte».

L'idea fu inizialmente accolta con notevole scetticismo. Sembrava troppo ambiziosa. Come era possibile che le terapie oncologiche si riducessero a una questione di orari? L'articolo di «People» suggeriva che alcuni colleghi liquidavano le idee di Halberg definendole «paranoiche». Secondo la maggior parte dei biologi era assurdo che l'orario potesse avere qualche rilevanza. Avevano infatti ottenuto risultati validissimi conducendo gli esperimenti quando faceva loro più comodo. E anche quando alcuni test stranamente non avevano prodotto gli stessi risultati, le spiegazioni potevano essere le più varie.

Oggi però i ricercatori sanno che il tempo è un fattore che influisce davvero sulla riuscita o sul fallimento di un esperimento o di una terapia. E stanno ricostruendo i circuiti in base ai quali l'ora del giorno si riflette sul nostro organismo: un impegno che potrebbe aiutare i medici ad adottare una vasta gamma di terapie in modo più efficiente e sicuro.

L'andamento ciclico dell'espressione genica

Ueli Schibler ricorda il giorno del 1990 in cui uno studente entrò nel suo ufficio dicendo: «Deve ritrattare questa pubblicazione. È tutto falso».

All'epoca Schibler, professore all'Università di Ginevra, stava studiando i «fattori di trascrizione». Il DNA in cui sono archiviate tutte le istruzioni necessarie per la vita generalmente è stipato nel nucleo cellulare. Quando serve un determinato insieme di istruzioni – cioè un gene – alcune proteine del nucleo dispiegano il segmento corrispondente e lo trascrivono. Il trascritto passa nelle regioni esterne della cellula, dove può essere letto e usato per costruire una proteina. Questo processo è chiamato «espressione genica», e i fattori di trascrizione sono fondamentali per il suo funzionamento.

I fattori di trascrizione possono assumere le forme più svariate, ma la loro caratteristica comune è la capacità di controllare come e quando avviene la trascrizione. Svolgono questa funzione, oltre ad alcune altre, legandosi al DNA stesso. Anche i fattori di trascrizione sono proteine prodotte seguendo le istruzioni codificate nei geni, e questo conferisce all'intero processo una circolarità. Un ricercatore post-doc del laboratorio di Schibler si stava occupando dell'isolamento di un fattore di trascrizione nel fegato. Tutto sembrava procedere a gonfie vele. Aveva trovato il trascritto per la proteina DBP nei ratti, individuato la sequenza proteica e identificato il gene che la produceva. All'epoca, lo studio dei meccanismi con cui i fattori di trascrizione danno forma a singoli tessuti era ancora agli albori, e individuare le caratteristiche di questo importante modulatore era un entusiasmante passo avanti. I ricercatori pubblicarono un articolo sulla prestigiosa rivista «Cell». «Era contento lui, ed ero contento io», racconta Schibler.

Quel ricercatore aveva poi ricevuto un nuovo incarico come assistente universitario, e un altro studente era subentrato nel progetto. Tre mesi più tardi lo studente si presentò nello studio di Schibler con quell'affermazione sensazionale: pur avendo ripetuto molte volte l'esperimento, non aveva mai trovato il fattore di trascrizione.

Schibler trovava difficile credere che il ricercatore avesse imbrogliato, ma quali altre spiegazioni potevano esserci? Provò subito a replicare personalmente l'esperimento: questa volta, con suo grande sconcerto, il DBP apparve. Allora i ricercatori andarono a caccia di ogni variabile, e alla fine si accorsero di una particolarità. Il ricercatore post-doc aveva condotto gli esperimenti sul fegato dei ratti nel primo pomeriggio, proprio come aveva fatto Schibler, mentre lo studente, che era figlio di contadini, arrivava in laboratorio intorno alle 7 del mattino e lavorava nella prima parte della giornata.

In sostanza, il fattore di trascrizione non era presente in quantità rilevabili nelle ore in cui lo cercava lo studente. All'epoca i ricercatori partivano dal presupposto che i geni producessero le proteine in modo più o meno costante nell'arco della giornata. Il gene che produceva la DBP seguiva invece un ciclo di 24 ore, che si ripeteva ogni giorno: al mattino la produzione della proteina era pressoché nulla, mentre nel pomeriggio il livello cresceva di 300 volte. Schibler e i suoi collaboratori descrissero questo sorprendente andamento in un secondo articolo che comparve su «Cell» quello stesso anno.

Nei decenni successivi, ricercatori di ogni parte del mondo hanno scoperto che i geni la cui espressione oscilla nell'arco della giornata non sono un'anomalia. Verso la fine degli anni novanta alcuni scienziati impegnati nello studio dei cianobatteri, che sono fotosintetici, scoprirono che più dell'80 per cento dei geni microbici produce le proteine seguendo un ritmo circadiano, cioè giornaliero. La scoperta aveva una sua logica, perché quegli organismi sono strettamente legati al Sole, ma si scoprì ben presto che anche molti geni delle mosche e dei topi si comportavano allo stesso modo.

Immaginiamo l'organismo come una macchina incredibilmente complicata, con migliaia di ingranaggi in cui le ruote, i denti e le molle devono essere allineati. A quanto pare, non tutte le ruote, i denti e le molle sono presenti in ogni momento

Uno studio pubblicato nel 2014 da John Hogenesch, oggi al Cincinnati Children's Hospital Medical Center, e dai suoi colleghi ha approfondito il fenomeno, analizzando l'espressione di quasi 20.000 geni in 12 diversi tessuti di topo. Il team ha registrato l'espressione genica ogni due ore e ha scoperto l'esistenza di «ore di punta», subito prima dell'alba e subito prima del tramonto, in cui si attivava un gran numero di geni. Inoltre, quando i ricercatori hanno cercato di capire quanti geni dell'intero genoma seguissero un andamento ciclico, hanno rilevato addirittura una percentuale del 43 per cento.

Da allora, secondo Google Scholar quello studio è stato citato più di 450 volte, via via che gli articoli sull'espressione genica circadiana aumentavano vertiginosamente. Le ultime stime sul numero di geni che seguono l'orologio biologico nei mammiferi, ricavate da uno studio su primati non umani condotto da Satchidananda Panda del Salk Institute for Biological Studies di La Jol-

la, California, e collaboratori, e pubblicato a febbraio su «Science», sono ancora più alte: l'82 per cento dei geni. Secondo Panda, la differenza è riconducibile in parte al numero molto più elevato di tessuti analizzati nel suo studio. «Questo cambia tutto», sostiene. «Significa che esiste una componente temporale nel genoma».

Immaginiamo che l'organismo sia una macchina incredibilmente complicata, con migliaia di minuscoli ingranaggi in cui le ruote, i denti e le molle devono essere allineati correttamente in un determinato momento affinché la vita possa procedere. È emerso che non tutte le molle o le ruote sono presenti in ogni momento. Se mandi una biglia dentro una buca, il percorso che segue la mattina potrebbe essere diverso da quello che segue la sera.

Il direttore d'orchestra di questa espressione temporale è l'orologio circadiano, che non è un singolo oggetto o luogo del cervello, come potrebbe indurre a pensare il nome, ma una squadra di una dozzina di proteine. Mentre alcuni ricercatori scoprivano i cicli dell'espressione genica, altri rivelavano i misteri dell'orologio biologico. Oggi sappiamo che il livello delle proteine dell'orologio aumenta e diminuisce nel corso della giornata, grazie alle direzioni impartite da una regione cerebrale sensibile alla luce, il *pacemaker* circadiano. Le proteine dell'orologio aiutano a guidare l'espressione di tutti gli altri geni che seguono cicli quotidiani, premendo i pulsanti e tirando le leve che fanno entrare in gioco alcune proteine e ne escludono altre, e regolando ogni aspetto, dalla divisione al metabolismo cellulare. Sono presenti in quasi tutte le cellule dell'organismo.

Questo ambito di studi acquista sempre più importanza: nel 2017 il premio Nobel per la fisiologia o la medicina è stato conferito a tre studiosi dell'orologio circadiano che hanno identificato una proteina dell'orologio fondamentale, che si accumula nelle cellule durante la notte, si degrada durante il giorno e opera come una sorta di «albero a gomiti» dell'intera macchina.

Le scoperte sull'orologio circadiano indicano che a livello dell'organismo esistono un momento propizio e uno sfavorevole per qualsiasi cosa, soprattutto per un intervento di natura medica. Ma qual è questo momento, esattamente?

Veleno o cura?

Il paracetamolo, venduto con diversi nomi commerciali, è un pericolo sotto mentite spoglie. È un analgesico nelle sue applicazioni più innocue – cefalea, dolori muscolari – ma può danneggiare il fegato se assunto in quantità eccessive. Se non trattato, un sovradosaggio può portare alla morte in pochi giorni. Ogni anno negli Stati Uniti il sovradosaggio di paracetamolo è la causa di oltre 78.000 visite al pronto soccorso.

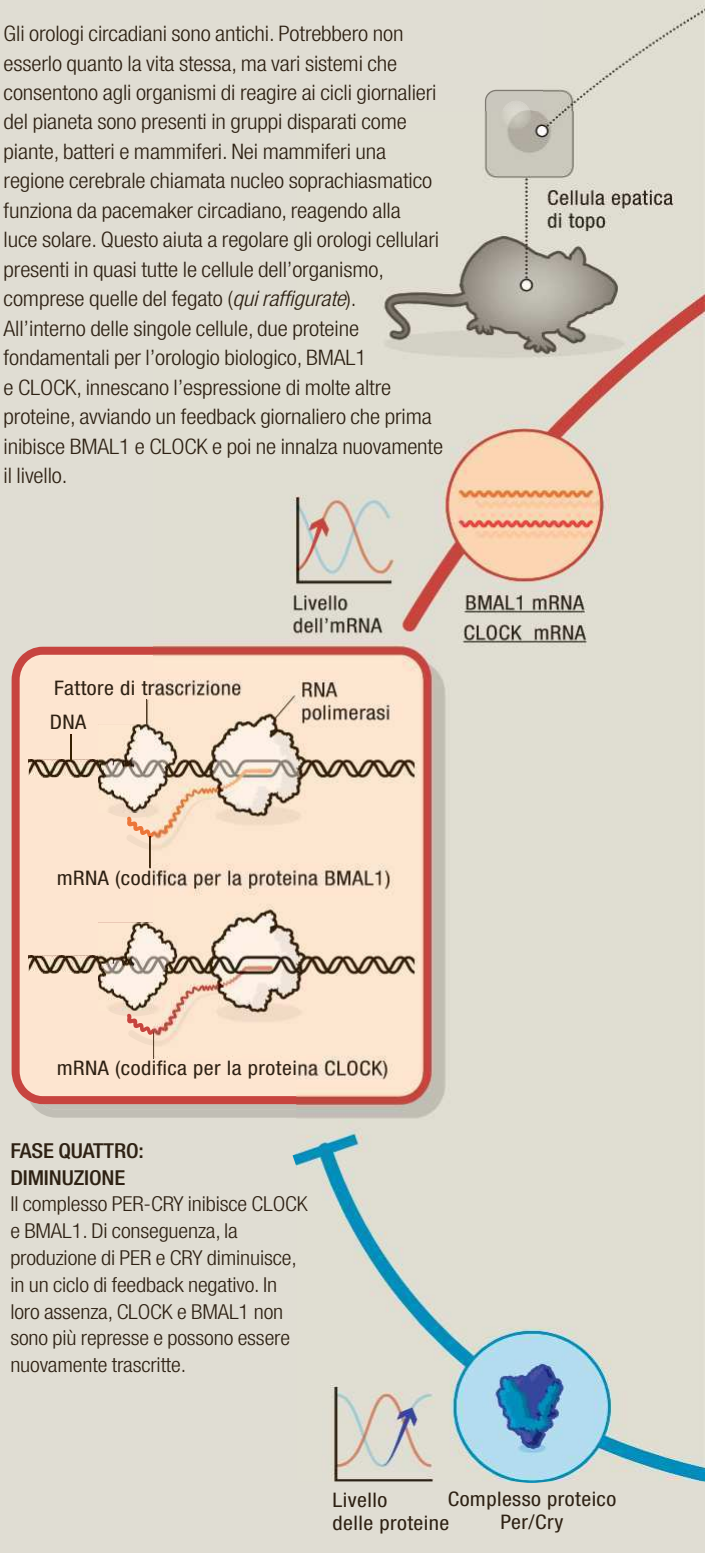
È possibile che il peculiare effetto letale del paracetamolo sia riconducibile in parte all'orario in cui viene assunto? Stando alle interessanti prove raccolte in studi sui topi dal cronofarmacologo Robert Dallmann dell'Università di Warwick, nel Regno Unito, e dai suoi colleghi, la risposta è sì. Somministrando ai topi una dose pericolosamente alta al mattino, non si riscontra alcun effetto inatteso. «Se lo somministri la sera – dice Dallmann – il fegato è sostanzialmente rovinato».

Ecco come funziona: durante il loro ciclo quotidiano nel fegato, le due principali proteine dell'orologio, chiamate CLOCK e BMAL1, azionano un interruttore provocando la trascrizione della DBP. La DBP, a sua volta, provoca l'espressione dell'enzima POR. Il POR agisce su un altro enzima ben noto ai farmacologi: CYP2E1, uno degli enzimi epatici che degradano i farmaci, gli alcolici e le sostanze contenute negli alimenti. Il livello di questi

AZIONE IN QUATTRO TEMPI

I ritmi di una cellula epatica

Gli orologi circadiani sono antichi. Potrebbero non esserlo quanto la vita stessa, ma vari sistemi che consentono agli organismi di reagire ai cicli giornalieri del pianeta sono presenti in gruppi disparati come piante, batteri e mammiferi. Nei mammiferi una regione cerebrale chiamata nucleo soprachiasmatico funziona da pacemaker circadiano, reagendo alla luce solare. Questo aiuta a regolare gli orologi cellulari presenti in quasi tutte le cellule dell'organismo, comprese quelle del fegato (*qui raffigurate*). All'interno delle singole cellule, due proteine fondamentali per l'orologio biologico, BMAL1 e CLOCK, innescano l'espressione di molte altre proteine, avviando un feedback giornaliero che prima inibisce BMAL1 e CLOCK e poi ne innalza nuovamente il livello.



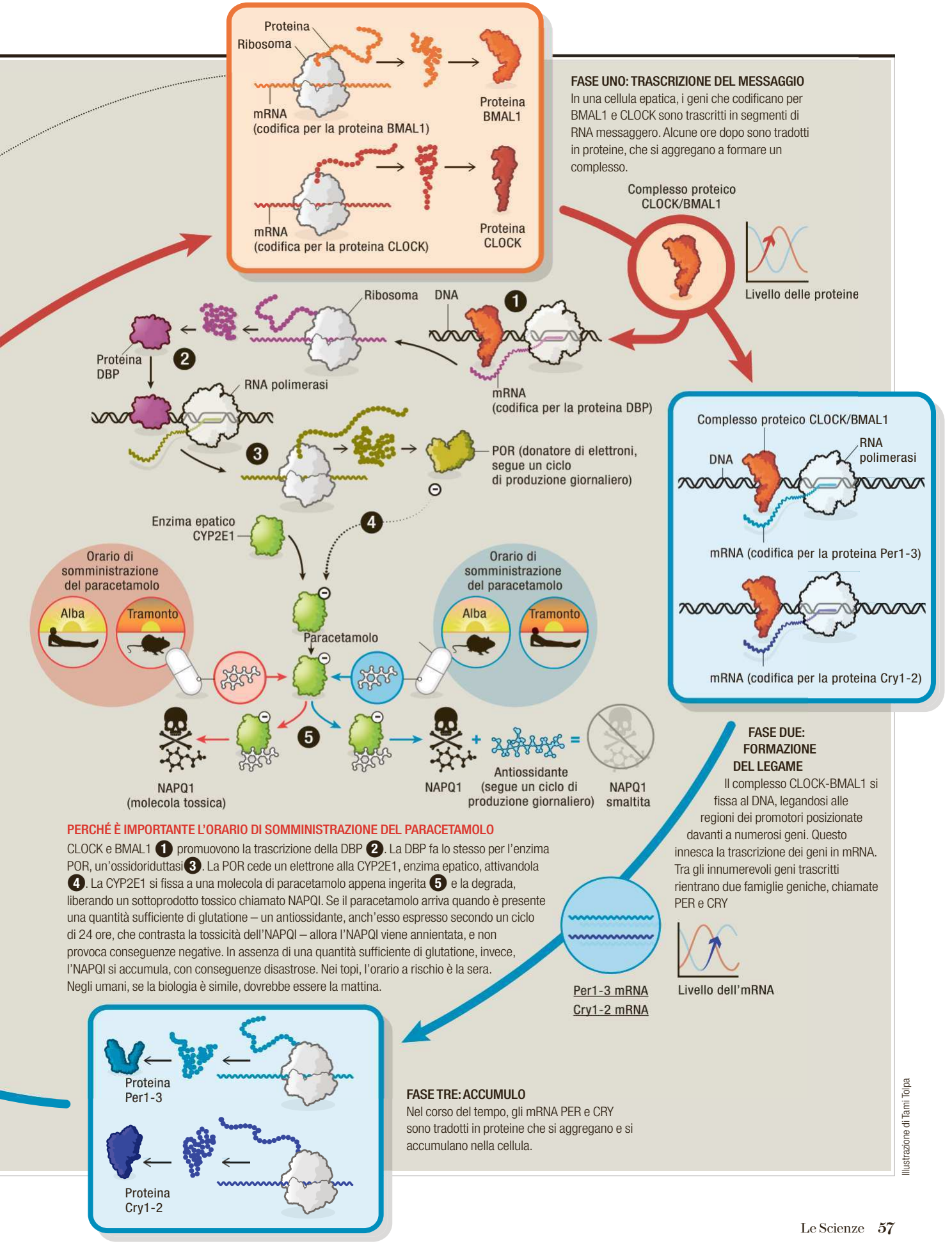


Illustrazione di Tarni Tolpa

enzimi epatici si impenna la mattina negli esseri umani e la sera nei topi, che sono animali notturni. Schibler ipotizza che gli enzimi si preparino per l'orario in cui è più probabile che l'organismo si nutra.

Il POR cede un elettrone alla CYP2E1. Quando una persona – o un topo – ingerisce il paracetamolo, la CYP2E1 si fissa alla molecola del farmaco. Una rapida sequenza di piccoli cambiamenti (il legame con una molecola di ossigeno, l'entrata in gioco di protoni e di un altro elettrone) provoca il rilascio di acqua, e una parte della molecola che prima era paracetamolo è ora un veleno estremamente pericoloso.

Nella maggior parte dei casi il veleno non rimane in circolazione. Quando il citocromo lo libera, il veleno viene catturato da un altro enzima e scomposto da un antiossidante in una sostanza innocua. Ma quello stesso antiossidante è prodotto secondo una tempistica stabilita dall'orologio circadiano. Se il paracetamolo arriva quando il citocromo è presente e la quantità di antiossidante non è sufficiente a gestirlo, il veleno si accumula, con conseguenze disastrose. Per i topi, il momento pericoloso è la sera. Per gli esseri umani, se i meccanismi biologici corrispondono, dovrebbe essere la mattina.

Come il paracetamolo, alcuni chemioterapici possono interagire con enzimi epatici soggetti al controllo circadiano, e la loro efficacia sembra dipendere dall'ora della somministrazione

È interessante sottolineare che, distruggendo l'orologio, si eliminano le differenze letali tra mattina e sera. «Siamo in grado di dimostrare che disattivando l'orologio nel fegato questo ritmo sparisce», sostiene Dallmann. Nelle cellule private di orologio, i geni sono espressi in modo più disorganizzato. Immaginiamo quindi una macchina complessa in cui quasi tutte le parti funzionino contemporaneamente, in una sorta di cacofonia genetica che probabilmente non può durare a lungo se l'animale deve restare sano. Ma l'esperimento sui topi dimostra che l'orologio circadiano influisce sugli effetti del farmaco.

L'influenza circadiana sui farmaci comuni

Se una parte così consistente del genoma genera proteine solo in determinati momenti del giorno e se i farmaci interagiscono con quelle sostanze, allora probabilmente l'orario della somministrazione influisce su diversi farmaci, non solo sul paracetamolo.

In effetti, 56 dei 100 farmaci più usati negli Stati Uniti agiscono su proteine espresse ritmicamente, come riferito da Hogenesch e colleghi nell'articolo del 2014. Circa metà di quei farmaci ha un'emivita inferiore a sei ore nell'organismo, perciò l'orario della somministrazione può influire sulla loro efficacia. L'aspirina prescritta per prevenire gli infarti, per esempio, ha un'emivita breve. Ma quello studio ha dimostrato che l'enzima su cui agisce segue un ciclo quotidiano nei tessuti cardiaci, polmonari e renali.

Forse questo andamento giustifica i risultati di una ricerca condotta nel 2005 su malati di ipertensione, secondo cui l'aspirina assunta prima di coricarsi abbassa la pressione sanguigna, mentre al mattino la innalza leggermente. Uno studio randomizzato più ristretto, condotto nel 2014 sugli esseri umani, ha dimostrato che l'aspirina assunta alla sera riduce un'attività delle cellule ematiche che porta alla formazione di coaguli del sangue. Al mattino invece non produce lo stesso effetto.

Oltre ad analizzare l'influenza circadiana sui farmaci comuni, molti ricercatori interessati all'idea della cosiddetta «cronomedicina» – che consiste nel calcolare i tempi di somministrazione delle terapie per garantirne la massima sicurezza ed efficacia – si stanno concentrando su alcuni farmaci particolarmente pericolosi: le terapie oncologiche.

I chemioterapici possono causare pesanti effetti collaterali e danni permanenti in alcuni malati. I processi biochimici responsabili di questi effetti collaterali hanno alcune affinità con i meccanismi osservati per il paracetamolo. Come quest'ultimo, alcuni chemioterapici possono interagire con enzimi epatici soggetti a controllo circadiano, e a volte la loro efficacia sembra dipendere dall'ora in cui sono somministrati. Decenni fa, Halberg e colleghi hanno scoperto che nei topi malati di cancro la vita e la morte dipendevano dall'ora in cui era somministrato il farmaco, come riferisce la sua collaboratrice Germaine Cornelissen, dell'Università del Minnesota.

Francis Levi, cronobiologo e oncologo medico all'Università di Warwick, e i suoi collaboratori sottopongono questa teoria a test rigorosi da oltre vent'anni. In un celebre studio Levi e colleghi hanno analizzato le reazioni di 93 malati di cancro colorettale a una terapia somministrata in orari prestabiliti. Nelle cellule umane, l'enzima di-idropirimidina deidrogenasi ha il compito di degradare il chemioterapico fluorouracile. Intorno a mezzanotte il livello di questo enzima è superiore quasi del 40 per cento. I ricercatori hanno pensato che la terapia somministrata a quell'ora avrebbe provocato meno effetti collaterali dolorosi e pericolosi, e in effetti hanno riscontrato che l'infiammazione delle mucose si riduceva di cinque volte e le ospedalizzazioni dovute agli effetti collaterali diminuivano di tre volte.

In un altro studio, il team ha scoperto che nei malati di cancro al colon-retto la cronoterapia aumentava la sopravvivenza per gli uomini, ma non per le donne. «[Questa scoperta] non significa che le donne non traggano beneficio dalla cronoterapia – dice Levi – ma solo che gli orari per le donne devono essere diversi da quelli per gli uomini». Per quel che riguarda questo particolare farmaco, è emerso, almeno nei topi, che le proteine dell'orologio circadiano nelle femmine seguono cicli talmente diversi da quelle dei maschi che il momento ottimale per somministrare le terapie è sfalsato di ore. Levi e i suoi collaboratori, insieme a un'azienda produttrice di strumenti biomedici, hanno sviluppato pompe che iniettano una dose a orari prestabiliti, anche mentre i pazienti o i medici stanno dormendo.

Ma se questi dati vengono pubblicati da decenni, perché la cronomedicina non è praticata su scala più vasta?

In primo luogo, non tutti gli studi ottengono risultati positivi. È difficile stabilire se questo accade perché i ricercatori non analizzano una gamma abbastanza ampia di orari della giornata o di altre variabili oppure perché stabilire un orario per la somministrazione non comporta alcun beneficio. Per gran parte degli anni in cui Levi e altri pionieri hanno lavorato in questo ambito, non si conoscevano i dettagli relativi ai meccanismi con cui l'orologio circadiano funziona e influenza gli effetti legati all'assunzione di un farmaco.

Nuove scoperte potrebbero dare maggiore rilevanza al settore. A marzo alcuni ricercatori in Cina e negli Stati Uniti hanno definito il funzionamento dell'orologio circadiano in 32 diversi tipi di tumore. E in un altro studio recente Hogenesch e colleghi hanno scoperto che somministrando ai topi un chemioterapico al momento giusto, quando cioè gli enzimi erano in grado di eliminare sottoprodotti pericolosi, la sua tossicità risultava dimezzata.

Nel frattempo, sempre più prove avallano l'uso della cronoterapia anche per altre patologie, tra cui disturbi infiammatori e autoimmuni come l'artrite reumatoide, i cui malati lamentano da tempo gonfiore e dolore alle articolazioni al mattino. Oggi sappiamo che l'orologio circadiano è responsabile dell'infiammazione articolare in quella fase della giornata, afferma Julie Gibbs dell'Università di Manchester, nel Regno Unito, studiosa del fenomeno. Gibbs spiega che una formulazione a rilascio programmato di un farmaco sviluppato in modo da essere presente prima del risveglio ha avuto grande successo in uno studio clinico condotto da un altro gruppo. Anche la barriera ematoencefalica potrebbe essere più permeabile in certi orari: Amita Sehgal e i suoi collaboratori all'Università della Pennsylvania hanno recentemente riferito che in alcuni esperimenti sui moscerini della frutta i farmaci antiepilettici si sono rivelati più efficaci durante la notte perché le pompe molecolari che rimuovono i farmaci dal cervello hanno un'espressione ciclica.

Grazie al crescente numero di pubblicazioni sull'orologio circadiano, la ricerca non procede più per tentativi ed errori. «Le scoperte degli ultimi quarant'anni sono state per lo più fortuite», dice Hogenesch. «Oggi abbiamo strategie fondate su principi e meccanismi». In altre parole, i ricercatori possono contare sul fatto che l'organismo segue una tabella oraria.

Verso una medicina personalizzata

Le aziende farmaceutiche e i medici non hanno reagito con lo stesso entusiasmo degli scienziati, o almeno non ancora. Gli studi sugli esseri umani dei meccanismi molecolari scoperti negli animali stentano a decollare. E poiché la cronobiologia generalmente non è studiata nelle Facoltà di medicina, le stesse persone che potrebbero sfruttarla non ne sanno molto, in realtà. Dal punto di vista delle case farmaceutiche, invece, prendere in considerazione i diversi orari della giornata è costoso. I test dovrebbero raddoppiare già solo per verificare se gli effetti sono diversi tra la sera e la mattina, senza contare tutte le altre ore del giorno.

A complicare ulteriormente le cose, alcune prove indicano che l'orario ottimale per la somministrazione può variare in modo significativo da una persona all'altra. Anche se tutti seguiamo più o meno le stesse tempistiche, c'è chi è più veloce e chi più lento. Cornelissen e i suoi colleghi in Giappone hanno scoperto che nelle persone ipertese il monitoraggio personalizzato dei ritmi circadiani può rivelare orari ottimali di somministrazione che cambiano da persona a persona. Anche gli studi oncologici di Levi hanno rilevato che è importante studiare il ciclo quotidiano personale dei pazienti, un livello di dettaglio che può disorientare.

Le case farmaceutiche hanno già avuto problemi con l'orologio circadiano. Levi racconta che negli anni ottanta un'azienda ha provato a ridurre i disturbi allo stomaco provocati da un antinfiammatorio introducendo una formulazione a rilascio ritardato. «È stato un disastro», ricorda Levi. Gli effetti collaterali non diminuivano, nonostante tutto il lavoro compiuto dall'azienda. Su richiesta di quest'ultima, Levi aveva condotto uno studio su oltre 500 pazienti, scoprendo che in realtà il farmaco era più tossico la mattina, proprio quando doveva essere assunto, probabilmente a causa del ritmo ciclico degli enzimi epatici. Controllare questi effetti prima di immettere un farmaco sul mercato potrebbe essere un modo per evitare simili scivoloni, oltre che per aumentarne l'efficacia.

In realtà, per le case farmaceutiche la variabilità individuale potrebbe non essere affatto un inconveniente, ma anzi una notevole opportunità.

La medicina personalizzata – basata sull'idea che le terapie possono essere sviluppate su misura per i singoli pazienti – è in crescita, ed è in linea con l'intenzione di integrarvi i ritmi biologici. Riuscire a eliminare gli effetti collaterali di un farmaco in un gruppo di persone assegnando loro un orario preciso per l'assunzione o somministrando una formulazione a effetto ritardato sarebbe un netto vantaggio per l'azienda produttrice. A questo proposito, grazie a semplici test non invasivi sta diventando sempre più facile capire a che punto del ciclo giornaliero si trova una persona. Hogenesch, per esempio, sta studiando un tipo di esame basato sul prelievo di cellule cutanee con un tampone.

Un giorno forse entreremo nello studio del medico conoscendo tutti i dettagli del nostro orologio biologico, come avviene ora per il gruppo sanguigno?

Forse un giorno entreremo nello studio del medico conoscendo tutti i dettagli del nostro orologio biologico, come avviene ora per il gruppo sanguigno? Riceveremo una tessera personalizzata con gli orari di assunzione dei farmaci? Le risposte variano, ma Schibler dice: «Penso proprio di sì».

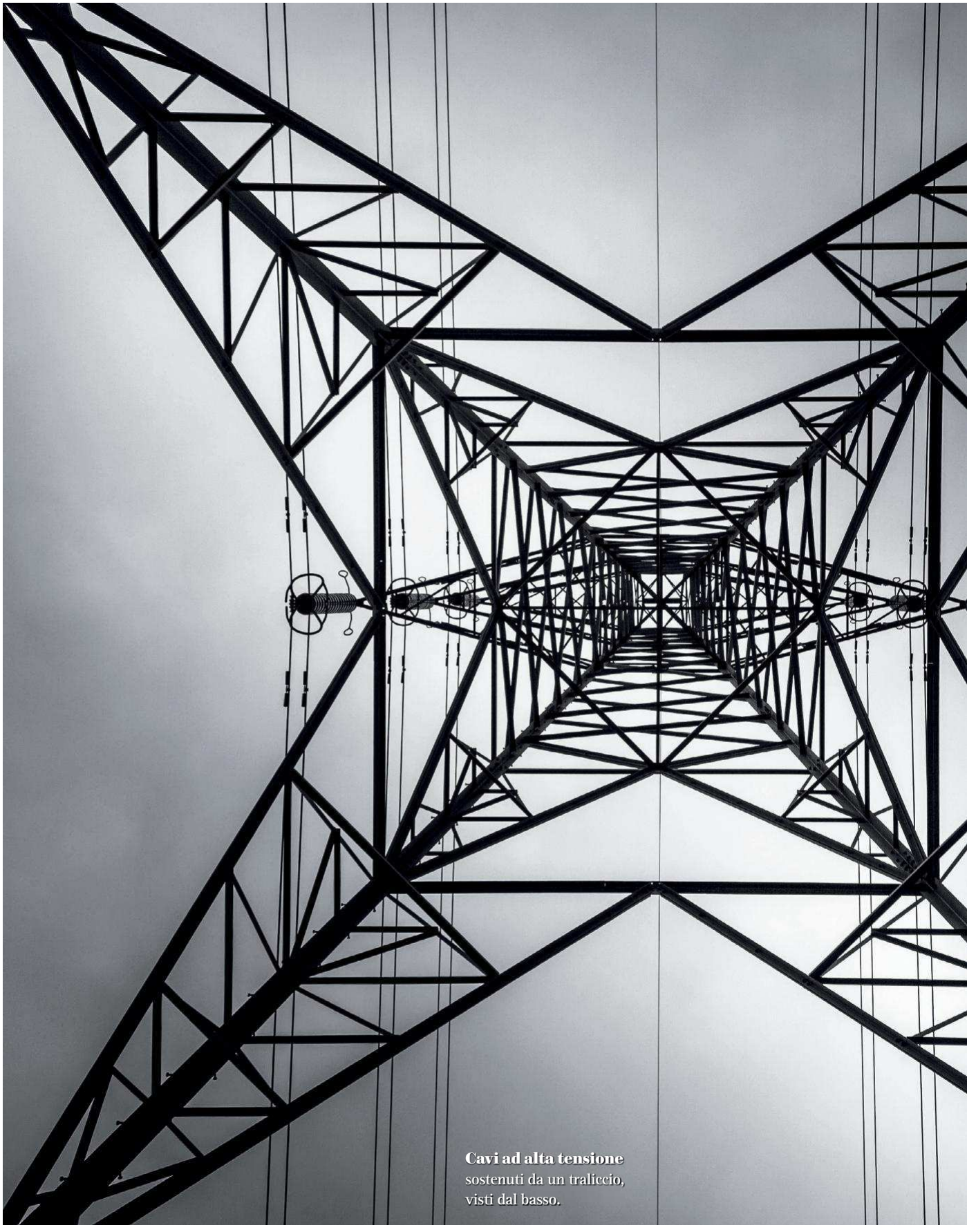
Se potessimo tornare all'epoca del monaco medievale asmatico, gli pneumologi moderni potrebbero spiegargli che gli attacchi di asma tendono a verificarsi nel cuore della notte anche perché quello è il momento di picco di alcuni ormoni che seguono un ciclo circadiano. Quegli ormoni restringono le vie polmonari, innescando una crisi nelle persone asmatiche, ma esiste un farmaco, la teofillina, che può ridurne l'effetto. Oggi viene assunto la sera, avvolto in una capsula che si scioglie lentamente, in modo da essere presente nel sangue al momento del bisogno. A più di 1500 anni da quando Celio Aureliano scrisse che l'asma arriva la notte, oggi abbiamo qualche risposta sui tempi e sull'organismo, ma anche nuovi misteri da risolvere. ■

PER APPROFONDIRE

Chronopharmacology: New Insights and Therapeutic Implications. Dallmann R. e altri, in «Annual Review of Pharmacology and Toxicology», Vol. 54, pp. 339-361, gennaio 2014.

A Circadian Gene Expression Atlas in Mammals: Implications for Biology and Medicine. Zhang R. e altri, in «Proceedings of National Academy of Sciences», Vol. 111, n. 45, pp. 16.219-16.224, 11 novembre 2014.

Diurnal Transcriptome Atlas of a Primate across Major Neural and Peripheral Tissues. Mure L.S. e altri, in «Science», Vol. 359, art. n. eaao0318, 16 marzo 2018.



Cavi ad alta tensione sostenuti da un traliccio, visti dal basso.

Gallery Stock

Costruire una rete elettrica intelligente basata sul meteo

Le fonti rinnovabili diventeranno protagoniste indiscusse solo quando la progettazione di nuove reti elettriche considererà con attenzione i dati meteorologici

di Peter Fairley

IN BREVE

Negli Stati Uniti, l'energia solare e quella eolica non diventeranno le fonti primarie fino a quando non sarà progettata una rete nazionale di trasferimento dell'elettricità che tenga conto delle variazioni meteorologiche quotidiane a livello locale.
I modelli che usano dati dettagliati sul meteo possono ottimizzare sia la collocazione degli impianti per lo sfruttamento delle energie rinnovabili sia le linee elettriche dirette di collegamento tra gli impianti.
Un modello permetterebbe di aumentare la quota delle energie rinnovabili portandola al 67 per cento della fornitura di elettricità degli Stati Uniti, ma la resistenza di Stati e aziende del settore alla creazione di lunghe linee a corrente continua ha soffocato lo sviluppo di una rete intelligente che tenga conto delle condizioni meteo.

Peter Fairley è un *freelance* di Victoria, nella British Columbia, ed è specializzato in temi di energia e ambiente.

Per le energie rinnovabili, il boom dell'eolico nella gola del fiume Columbia, nel nord-ovest degli Stati Uniti, è allo stesso tempo una storia di successo e un invito alla cautela. Gli ingegneri hanno collocato nella gola migliaia di turbine eoliche che forniscono energia a 2-3 milioni di case, ma questa elettricità generata senza emissioni di carbonio è fonte di problemi per gli operatori della Bonneville Power Administration, l'ente di Portland, in Oregon, che gestisce la rete elettrica della regione. Le variazioni delle condizioni meteo spingono i venti in tratti diversi dell'estesa serie di turbine eoliche, causando enormi sbalzi di potenza. Gli squilibri sono peggiorati ulteriormente dal monte Hood, che dalla sua posizione al di sopra della gola divide i venti prevalenti come un masso in mezzo a un fiume, con un effetto che serpeggia tra i parchi eolici della gola causando picchi e crolli nella produzione di energia. Per Bonneville è come avere un reattore nucleare collegato a un regolatore di intensità, che dà un andamento altalenante alla produzione di elettricità.

La gestione della rete elettrica è ancora più ricca di imprevisti in primavera, con le impennate nella produzione di energia che arrivano dagli enormi impianti idroelettrici della regione. Le dighe devono operare a pieno regime perché i bacini idrici alle loro spalle sono colmi dell'acqua del disgelo e lasciarli straripare senza produrre elettricità significherebbe non solo sprecare quell'energia potenziale, ma anche immettere nel fiume una quantità eccessiva di aria, che farebbe morire i salmoni durante la schiusa «causando un'embolia gassosa», afferma Justin Sharp, un consulente energetico di Portland. Così a volte Bonneville deve fermare i parchi eolici, sprecando parte di energia pulita.

Sharp conosce bene la situazione, perché ha contribuito a crearla. Dopo un dottorato in meteorologia in cui ha studiato i forti venti della zona, ha lavorato per sette anni alla Iberdrola Renewables (oggi Avangrid Renewables), dedicandosi a sfruttare quella risorsa con le turbine che oggi alimentano la rete elettrica di Bonneville. Sharp afferma che i parchi eolici sono stati progettati per dare la massima resa annua al minor costo e che Bonneville ha potenziato le linee di trasmissione per portare sul mercato l'elettricità così prodotta. Però, aggiunge, la variabilità delle condizioni meteo e climatiche è stata ignorata da tutti. «Abbiamo valutato quella variabilità quando pensavamo a costruire i parchi eolici? No. La stiamo valutando ora? No. Ha un impatto sul sistema e sulla sua capacità di gestire grandi quantità di vento? Sicuramente».

La storia si ripete in tutti gli Stati Uniti. Gli esperti come Sharp vedono arrivare il giorno della resa dei conti per Stati, città e aziende che vogliono passare a un'energia generata senza emissioni di carbonio. Se i costruttori continuano a ignorare le variazioni legate al meteo, le reti elettriche del futuro saranno sempre più precarie. «Cerchiamo di inserire le energie rinnovabili nel sistema elettrico esistente, ma è una forzatura, e secondo me sarà un disastro», dice Sharp.

Le reti dovrebbero essere progettate come *smart grid*, dirette dalla meteorologia e costruite con linee di trasmissione a lunga percorrenza che permettano di gestire le discontinuità delle condizioni atmosferiche. Un sistema simile permetterebbe di spostare grosse quantità di energie rinnovabili per far corrispondere domanda e offerta indipendentemente dalle condizioni meteo, per esempio continuando ad alimentare la città di Minneapolis con l'abbondanza eolica della gola del fiume Columbia quando si fermano i venti del Midwest, e viceversa. «Non ci siamo ancora arrivati», riconosce Charlie Smith, consigliere delegato di Energy Systems Integration Group, un'associazione di settore dedita alla gestione delle variazioni nella produzione di energia elettrica.

Mostri da domare

Per dirla tutta, le condizioni meteo hanno sempre influenzato la progettazione delle reti elettriche, ma solo a un livello grossolano, afferma Aaron Bloom, che dirige il Grid Systems Analysis Group per il National Renewable Energy Laboratory (NREL) del Department of Energy statunitense. Le ondate di calore e di gelo causano le maggiori difficoltà per una rete elettrica locale, e in genere la progettazione si limita a garantire che il sistema regga durante le ore più difficili nelle giornate più estreme dal punto di vista meteorologico. Oggi, però, la rapida crescita dei parchi solari ed eolici costringe i progettisti a progettare smart grid con sempre più attenzione al tempo, sostiene Bloom, perché a differenza dei generatori tradizionali a carbone, gas naturale ed energia nucleare, le turbine eoliche e i pannelli solari dipendono molto dal meteo, il che aggiunge una variabile importante che cambia ogni giorno dell'anno.

Nelle reti con fonti rinnovabili non di rado la variabilità meteo è poco considerata

Texas e California sono due buoni esempi della sfida. Il Texas guida la classifica per capacità eolica negli Stati Uniti, con oltre 20 gigawatt installati, ma i venti prevalenti soffiano soprattutto di notte, con un eccesso di elettricità sulla rete che obbliga addirittura i produttori a pagare i clienti più grandi affinché se la prendano, una soluzione che sembra assurda, ma che può essere meno dispendiosa rispetto a spegnere gli impianti eolici e sprecare energia.

La California è ben equipaggiata dal punto di vista eolico, ed è in testa alla classifica statunitense per impianti a energia solare e pannelli fotovoltaici sui tetti. I collettori solari sollevano uno tsunami elettrico ogni mattina al sorgere del Sole, a volte producendo più energia di quanta la rete ne possa assorbire, e vengono meno in prima serata, quando i consumatori richiedono quantità di corrente ancora grandi.

C'è poco che la California possa fare. «Lo Stato è disposto da nord a sud, quindi il Sole sorge e tramonta praticamente alla stessa ora su tutti i pannelli solari», spiega Mark Ahlstrom, vicepresidente per le politiche sulle energie rinnovabili per NextEra Energy Resources, un'azienda che si occupa di sviluppo di progetti legati alle energie rinnovabili. Intanto, nell'inverno di tre anni fa la generazione di energia eolica si è interrotta in entrambi gli Stati a causa di condizioni meteo estreme quando un fronte di alta pressione particolarmente stabile sulla costa occidentale degli Stati Uniti ha ridotto i venti a livelli insolitamente bassi per diversi mesi.

Spesso ciascuno Stato riceve pochi aiuti dal resto del paese, perché la rete elettrica degli Stati Uniti è divisa in tre grandi re-

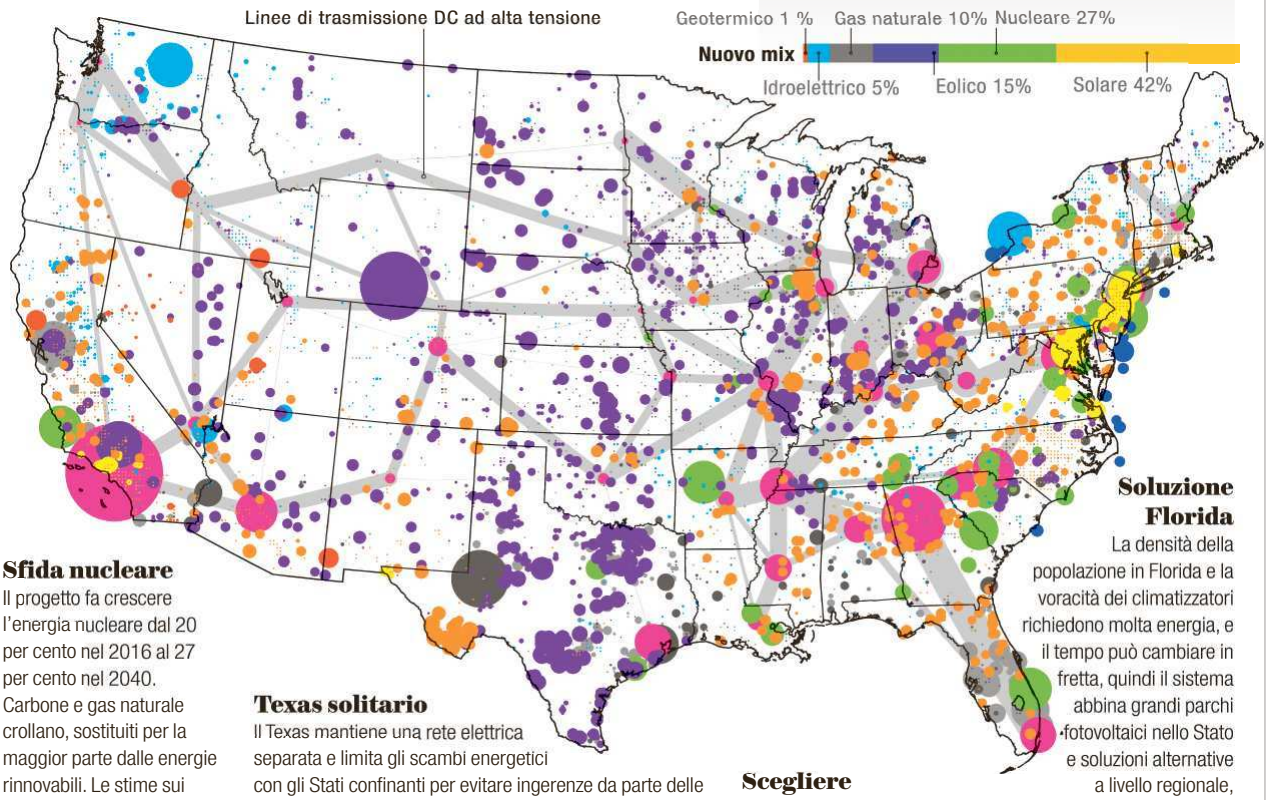
Una rete meno inquinante e più economica

Una riprogettazione radicale del sistema elettrico negli Stati Uniti potrebbe portare le energie rinnovabili a più del 67 per cento della fornitura elettrica nel 2040 ed eliminare gli impianti a carbone. La configurazione qui indicata emetterebbe l'89 per cento in meno di gas serra rispetto al sistema del 2016 e taglierebbe le bollette elettriche del 10 per cento. La chiave consiste nell'usare dati dettagliati sui modi in cui le condizioni meteo cambiano in ogni quadrato di tre chilometri per tre in tutti gli Stati Uniti, ogni cinque minuti, tutto l'anno, per determinare quali impianti costruire e dove (*pallini*) e quale sia il modo più efficiente per collegare le diverse regioni con linee di trasmissione a corrente continua (*in grigio*). Questo progetto, firmato da Vibrant Clean Energy, propone per gli impianti una distribuzione più granulare rispetto a oggi, in modo che possano sostenersi a vicenda via via che le condizioni meteo cambiano a livello nazionale.

Piano energetico ideale per il 2040

Ciascun pallino rappresenta un tipo di fonte energetica locale. I pallini qui sotto rappresentano 1000 megawatt. Sulla mappa, i pallini più grandi indicano quantità maggiori, in proporzione, e quelli più piccoli indicano quantità minori.

- Accumulatori
- Gas naturale – ciclo combinato
- Gas naturale – turbine a combustione
- Pannelli solari sui tetti
- Nucleare
- Idroelettrico
- Eolico in mare
- Geotermico
- Eolico a terra
- Parchi fotovoltaici



Sfida nucleare

Il progetto fa crescere l'energia nucleare dal 20 per cento nel 2016 al 27 per cento nel 2040. Carbone e gas naturale crollano, sostituiti per la maggior parte dalle energie rinnovabili. Le stime sui costi del nucleare sono ottimistiche; se dovessero aumentare, l'uso del nucleare diminuirebbe in percentuale, sostituito in prevalenza dal gas naturale.

Texas solitario

Il Texas mantiene una rete elettrica separata e limita gli scambi energetici con gli Stati confinanti per evitare ingerenze da parte delle autorità di controllo federali, quindi in questo schema è solo marginalmente collegato al resto degli Stati Uniti. La simulazione non considera neanche Canada e Messico, ma per massimizzare l'affidabilità e minimizzare i costi una rete intelligente che consideri il meteo dovrebbe coprire tutto il Nord America.

Scegliere la corrente continua

Una grande ristrutturazione della rete elettrica richiede molte linee a corrente continua su lunghe distanze, ma attualmente ce ne sono poche.

Soluzione Florida

La densità della popolazione in Florida e la voracità dei climatizzatori richiedono molta energia, e il tempo può cambiare in fretta, quindi il sistema abbina grandi parchi fotovoltaici nello Stato e soluzioni alternative a livello regionale, coordinati da linee a corrente continua. Le batterie di accumulo aiutano ad attenuare la variabilità nella produzione e i picchi di domanda.

Mappa di Christopher Clack, Vibrant Clean Energy

gioni, isolate l'una dall'altra in una balcanizzazione a causa della quale ciascuna regione deve gestire le variazioni meteo per conto proprio. Praticamente non c'è scambio di energia tra Eastern Interconnection e Western Interconnection, le due reti elettriche a corrente alternata (AC) che servono gran parte degli Stati Uniti e del Canada e una parte del Messico, e ce n'è ancor meno con il Texas, che ha una rete AC a sé stante.

I consumatori non sanno nulla dei problemi che potrebbero essere causati dalle energie rinnovabili, perché negli Stati Uniti le grandi turbine eoliche e i parchi solari, insieme, forniscono appena il 7,6 per cento dell'elettricità e gli operatori di rete hanno ancora migliaia di impianti elettrici tradizionali a cui ricorrere per bilanciare queste fonti altalenanti. Ma la quota di energia da fonti rinnovabili cresce veloce. La California vuole raggiungere il 50 per cento di energia da fonti rinnovabili entro il 2030 (escluse le grandi centrali idroelettriche); le Hawaii intendono raggiungere una quota del 100 per cento già nel 2040. Sono ancora poche le compagnie di distribuzione e trasmissione dell'elettricità che si impe-

gnano a progettare reti elettriche intelligenti che tengano conto del tempo, in modo che siano in grado di gestire l'ondata di elettricità eolica e solare in arrivo, ma il numero di strumenti di progettazione utili per affrontare la sfida cresce sempre di più.

Big data per il meteo

Il gruppo di Bloom al NREL, con l'aiuto di esperti come James McCalley, della Iowa State University, sta portando a termine uno studio che valuta i benefici di una maggiore condivisione dell'elettricità tra la rete orientale e quella occidentale. L'Interconnections Seam Study è il primo a usare nuovi insiemi di dati sull'energia eolica e solare con una risoluzione spaziale e temporale dettagliata, e di conseguenza porta le simulazioni a nuovi livelli. I dati del NREL offrono istantanee delle condizioni meteo e dei flussi di energia in tutti gli Stati Uniti a intervalli di cinque minuti per un anno, dividendo la superficie in quadrati di due chilometri di lato per rilevare i venti e di quattro chilometri di lato per rilevare l'irradiazione solare. Un livello così dettagliato è cruciale per mappare le variazioni della potenza eolica su terreni complessi come la gola del Columbia. La proiezione delle velocità dei venti a diverse altezze permette di scegliere anche la tecnologia ottimale per le turbine eoliche da installare in ogni sito. Così si ottengono simulazioni che mostrano come far crescere le energie rinnovabili negli Stati Uniti continentali (escluso il Texas) in modo affidabile e con un buon rapporto qualità-prezzo per arrivare a oltre il 54 per cento entro il 2040, un livello ben superiore a quello attuale.

Una risoluzione più dettagliata nello spazio e nel tempo porterebbe a reti più intelligenti

Le simulazioni eliminano la divisione tra est e ovest collegando le due reti elettriche con grandi linee a corrente continua (DC) che attraversano il confine tra le due interconnessioni, oppure con una rete di linee DC più lunghe che collegano la costa del Pacifico alla zona del Midwest abbinate a una linea che va dalla Louisiana alla Florida. Si usano cavi DC perché sulle lunghe distanze disperdono meno energia rispetto ai cavi AC e di conseguenza rendono economicamente fattibile la distribuzione a distanza. I modelli del NREL hanno determinato quanta potenza dovrebbero trasportare le linee elettriche e dove andrebbero collocati i nuovi generatori per sfruttare al meglio questo sistema di trasmissione rinforzato.

I modelli individuano diverse possibilità di ottimizzazione per una rete intelligente dal punto di vista meteo, per esempio l'installazione di una gamma più ampia di tipologie di turbine eoliche e di pannelli solari che siano distribuiti più ampiamente sul territorio, invece di essere raccolti nelle poche regioni eccezionalmente ventose o assolate come avviene oggi. Secondo Greg Brinkman, del NREL, il risultato sarebbe molto probabilmente una fornitura più regolare di energie rinnovabili e quindi una minore necessità di riserve provenienti dalle centrali elettriche tradizionali: «Le diversità naturali sarebbero già integrate», spiega.

Per quanto sofisticato, il sistema del NREL evidenzia anche la sfida continua della progettazione di reti intelligenti dal punto di vista del meteo. Per esempio, McCalley ha introdotto semplificazioni in modo che la simulazione elaborasse i risultati in un periodo «accettabile» di sei o sette giorni. E la fase che assegna i generatori di energie rinnovabili a determinati luoghi usava un'immagine semplificata a livello spaziale e temporale, invece di quella con una precisione a intervalli di cinque minuti e di quattro chilometri quadrati.

Il laboratorio ha anche dovuto fissare in anticipo i punti di partenza e di arrivo delle linee DC per evitare un calcolo matematicamente ingestibile, di conseguenza il modello non ottimizza sempre simultaneamente i generatori e le vie di trasmissione. In ogni caso, i risultati preliminari del NREL mostrano che le linee DC a lunga percorrenza farebbero risparmiare 3,8 miliardi di dollari l'anno, per esempio grazie al taglio nei consumi di carbone e gas, e quindi renderebbero più di tre volte il loro costo iniziale. Ma ogni chilometro di linea DC potrebbe generare anche ulteriori risparmi (e ulteriori tagli delle emissioni di anidride carbonica) se la disposizione delle linee fosse ottimizzata del tutto.

I modelli sviluppati di recente per la ristrutturazione della rete elettrica europea in vista delle fonti di energie rinnovabili che si prevedono entro il 2040 confermano che le semplificazioni nelle simulazioni del NREL fanno probabilmente sprecare parte del potenziale delle energie rinnovabili. La Rete europea dei gestori dei sistemi di trasmissione di energia elettrica (ENTSO-E), un consorzio con sede a Bruxelles, ha aggiunto abbastanza generatori di energia eolica, solare e di altre fonti rinnovabili al modello del 2030 in modo da portare il totale delle rinnovabili al 75 per cento. A quel punto gli esperti hanno prodotto un modello concettuale per il 2040 che espande i collegamenti tra i paesi per ridurre i colli di bottiglia nel flusso stagionale dell'energia, e infine hanno ridistribuito i generatori per sfruttare meglio la rete riprogettata. Questa ottimizzazione ha dato un forte impulso alle energie rinnovabili, portandole a oltre l'80 per cento nel progetto per il 2040.

Algoritmi migliori

Un ricercatore indipendente sostiene di poter unire tutte queste tecniche per ottenere ancora di più dai dati sul clima. Christopher Clack, amministratore delegato di Vibrant Clean Energy, una società che si occupa di modelli di reti elettriche e previsioni energetiche con sede a Boulder, in Colorado, ha sviluppato i suoi algoritmi avanzati per lo sviluppo di modelli di reti smart attente al meteo nei quattro anni di lavoro alla National Oceanic and Atmospheric Administration. Poi, nel 2016, ha lanciato un suo programma commerciale proprietario chiamato WIS:dom.

Secondo Clack, WIS:dom usa lo stesso genere di dati meteo ad alta definizione usati anche al NREL, ma in modo diverso, e così crea maggiori opportunità per le energie rinnovabili. La sua recente analisi delle grandi reti elettriche degli Stati Uniti ha portato allo sviluppo di un sistema in cui le rinnovabili arriverebbero a costituire il 62 per cento della generazione di elettricità entro il 2040, il 20 per cento in più rispetto alle ultime proiezioni del NREL. Secondo la simulazione, l'energia fornita dalla rete sarebbe anche più economica del 10 per cento rispetto a oggi, e Clack sostiene che, se il risparmio fosse reinvestito nel sistema di trasmissione dell'elettricità, il suo modello porterebbe le energie rinnovabili ben oltre il 67 per cento e ben prima del 2040.

Clack sostiene che WIS:dom ottiene più informazioni dai dati climatici perché ottimizza simultaneamente centrali elettriche e trasmissione (in particolare sulle linee DC), invece di ridefinire le linee in anticipo, come ha dovuto fare il NREL. Inoltre il suo modello sfrutta il diverso andamento dei vari generatori di energie rinnovabili distribuiti nel paese a seconda delle ore del giorno, così da bilanciare meglio l'energia eolica e solare proveniente da posti lontani tra loro. Per esempio, WIS:dom può rilevare il momento in cui l'aumento dell'energia eolica generata in Texas di notte bilan-

I parchi eolici nello Stato di Washington potrebbero inviare energia a migliaia di chilometri di distanza, verso est, se la rete elettrica degli Stati Uniti fosse migliorata con l'aggiunta di linee a corrente continua.

Inga Spence/Getty Images

cia il calo dei venti al largo della costa est, che invece soffiano di più durante il giorno. «Tutte le regioni ne aiutano altre in momenti diversi», spiega Clack. Il modello del NREL, con le sue limitazioni, può perdere parte di questi risultati, ammette McCalley, anche se non è sicuro che la semplificazione faccia una grande differenza.

Clack afferma che il suo modello impiega «solo» due giorni per ottimizzare i progetti delle reti. Per gli esperti, i suoi modelli potrebbero rivoluzionare la progettazione di reti attente al meteo. «Ha raggiunto un livello maggiore di fedeltà», dice Ahlstrom.

Ciò che manca a WIS:dom, però, è la verifica. Esperti come Ahlstrom, Bloom e altri vorrebbero sapere di più sul funzionamento del programma proprietario di Clack per poterne confermare l'affidabilità. E sembra improbabile che Clack lo riveli, dato che vende alle aziende del settore i risultati del suo programma, inclusi i consigli su dove gli operatori locali e i costruttori di linee di trasmissione dovrebbero indirizzare i loro investimenti miliardari.

Inibitori politici

Sviluppatori di sistemi elettrici come Sharp e Smith cercano di incoraggiare aziende del settore e organizzazioni scientifiche come l'American Meteorological Society a favorire la progettazione di sistemi attenti all'aspetto meteorologico e sostengono che i leader politici e industriali dovrebbero portare avanti campagne a favore della trasmissione dell'energia su linee DC. Le leggi dei singoli Stati sulle energie rinnovabili spingono gli operatori a costruire linee AC per collegare le risorse eoliche e fotovoltaiche, ma solo poche aziende stanno cercando di costruire le linee DC a lungo raggio necessarie per lo scambio di energie rinnovabili tra le diverse regioni, come avviene in Europa, in Cina e altrove.

Parte del problema è l'opposizione di chi non vuole avere le linee elettriche in casa propria. Un'altra parte è che le aziende stanno spostando gli investimenti verso soluzioni che non prevedano l'uso di cavi elettrici, come le batterie di accumulo. Batterie grandi e costose nei punti dove c'è bisogno di elettricità possono accumulare l'eccesso di energia e conservarlo per le giornate prive di luce e di vento, ma possono fare poco in caso di eventi estremi come il periodo di assenza di venti del 2015 negli Stati Uniti occidentali.

Le lotte campanilistiche sono una barriera ancora maggiore alla realizzazione di collegamenti DC a lungo raggio. Gli amministratori locali e statali, per proteggere la produzione di energia locale, hanno spesso impedito la creazione di grandi linee elettriche che importavano energia a basso prezzo da fonti lontane.

La resistenza alle grandi linee DC è stata una lezione amara da digerire per Dale Osborn, direttore del gruppo che ha progettato la rete di collegamenti DC per lo studio del NREL. Osborn era il principale sostenitore delle reti con collegamenti DC negli Stati Uniti fino al suo pensionamento, quando ha lasciato il Midcontinent Independent System Operator, l'azienda che gestisce le reti e il mercato grossista dell'elettricità su un'area che unisce 15 Stati degli Stati Uniti e il Manitoba in Canada. Come dimostra un'analisi del NREL, un sistema di scambio di elettricità che vada dallo Stato di Washington alla Florida richiede meno centrali elettriche in tutto il paese, ma anche se questo approccio ridurrebbe i costi generali «ci sono tante persone egoiste che non vogliono che l'elettricità sia generata a basso costo», si lamenta Osborn. «Vogliono prezzi alti per l'elettricità generata da loro».

Secondo Clack, le prospettive per la corrente continua ad alta tensione (HVDC) negli Stati Uniti sono così fievoli che in genere i clienti gli chiedono di non tenerne conto, costringendo WIS:dom ad accontentarsi di linee AC più brevi ma più numerose. «La HVDC a lunga distanza viene disattivata perché la maggior parte delle persone crede che non si realizzerà», sostiene Clack; o almeno non si realizzerà in un futuro prossimo. Purtroppo, sottolinea, quando disattiva la DC mantenendo costanti i costi, svanisce circa la metà delle riduzioni di emissioni di anidride carbonica ottenute riducendo il numero di centrali elettriche tradizionali.

Il governo potrebbe aiutare a sbloccare la situazione. Ernest Moniz, segretario per l'energia del presidente Barack Obama, esercitò un'autorità senza precedenti espropriando terreni per una linea DC considerata di importanza nazionale. Quell'iniziativa, che avrebbe dovuto trasportare l'eccesso di energia eolica, è stata recentemente sospesa dal suo stesso promotore, Clean Line Energy Partners, che attualmente è impegnato a sostenere diversi progetti a loro volta bloccati dall'opposizione locale e statale.

Con Donald Trump simili azioni a favore delle linee di trasmissione sono meno probabili. Il segretario per l'energia Rick Perry punta soprattutto a proteggere le centrali a carbone, sostenendo che aumentare le riserve di carbone renderebbe la rete elettrica più «resistente» al meteo estremo. Gli esperti, al contrario, fanno notare che le riserve di carbone possono congelare con un'ondata di freddo e allagarsi con le tempeste tropicali, obbligando le centrali a chiudere, mentre spesso gli stessi eventi porterebbero gradienti di pressione atmosferica che farebbero girare le turbine eoliche e cieli limpidi che aumenterebbero la produzione di energia solare. Come osserva Sharp, «nel paese ci sono zone che vantano fonti di energia rinnovabile molto solide in condizioni meteo estreme».

Se solo ci fosse una rete intelligente per distribuirla. ■

PER APPROFONDIRE

Transmission Upgrades & Expansion: Keys to Meeting Large Customer Demand for Renewable Energy. Gardiner D. e altri, Wind Energy Foundation, gennaio 2018.

L'Interconnections Seam Study del National Renewable Energy Laboratory: **www.nrel.gov/analysis/seams.html.**

Un surfista scende da un'onda colossale a Nazaré, in Portogallo.

Francisco Seco/AP Photo

Onde mostruose

Le tecnologie per le previsioni meteorologiche e l'esperienza dei surfisti permettono cavalcate da record sui cavalloni più grandi del pianeta

di Chris Dixon

La notte del 7 novembre 2017 Rodrigo Koxa ha dormito male. Questo surfista brasiliano trentottenne, esperto di grandi onde e proveniente da un'isoletta vicina a São Paulo, era nel *bungalow* che aveva affittato per l'autunno e l'inverno a Nazaré, un paesino di pescatori sulla costa centrale del Portogallo. Là fuori, al buio, onde gigantesche si abbattevano sulla riva, scuotendo la terra. «Mi stavo dicendo: "Devi andare giù dritto per la tua onda"», racconta, perseguitato da un brutto ricordo.

Tra ottobre e marzo a Nazaré arrivano onde enormi. Koxa fissava il suo computer portatile, osservando macchie animate gialle, blu e viola nelle previsioni delle onde realizzate dai servizi meteorologici europei, dalla statunitense National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e da Surfline, un noto portale per il surf. Era chiaro che il mattino dopo sarebbe stato il momento giusto.

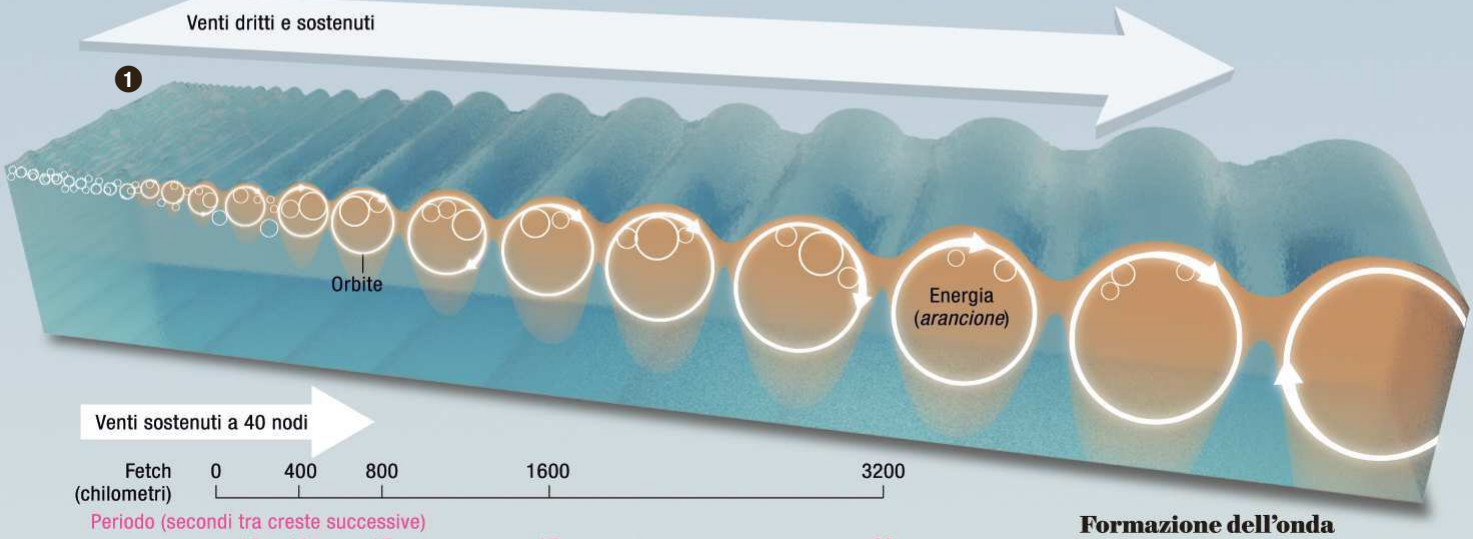
Da 1000 anni gli abitanti di questa cittadina vedono abbattersi sulla costa onde tra le più grandi al mondo, che tuttavia erano sfuggite all'attenzione dei surfisti fino al 1° novembre 2011. Quel giorno il pilota di una Yamaha WaveRunner ha trainato il campione di surf Garrett McNamara e la sua tavola in cima a un'onda colossale, che secondo i giudici del Guinness dei primati arrivava a un'altezza da record: quasi 24 metri. Nel 2014, al suo primo tentativo a Nazaré, Koxa ha rischiato di morire. Subito dopo avere cominciato la discesa lungo una montagna d'acqua si è quasi schiantato contro le scogliere. Guardando le previsioni, sapeva che l'indomani avrebbe affrontato un altro gigante.

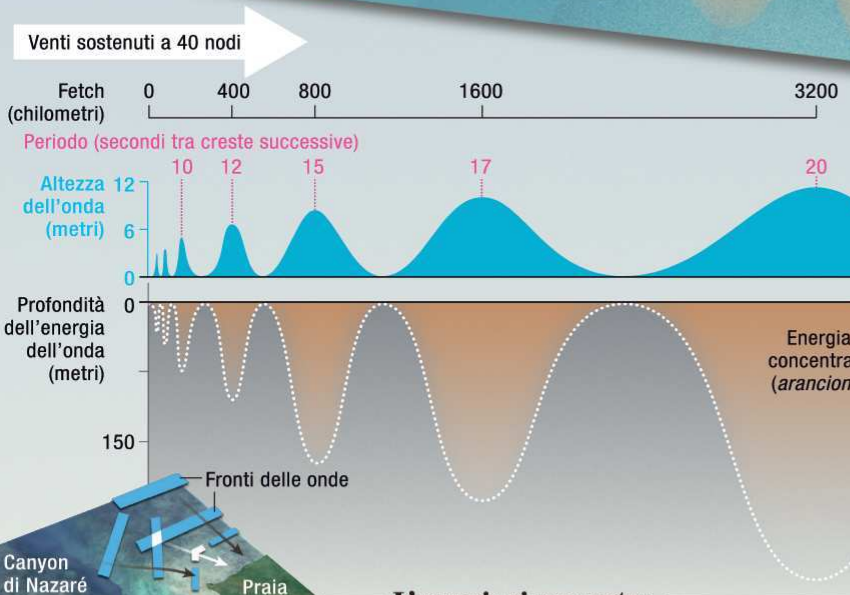
IN BREVE

Le onde giganti, alte fino a 24 metri, si formano in poche località al mondo, per esempio a Nazaré, Portogallo.
Per spiegare perché, gli scienziati hanno abbinato i dati in tempo reale su vento e acqua con i modelli del fondo marino. Inoltre usano le informazioni per prevedere dove e quando arriveranno le prossime onde da record.
I migliori surfisti del mondo affollano questi luoghi per provare il brivido spaventoso di cavalcare l'onda più grande.

Come nascono le onde

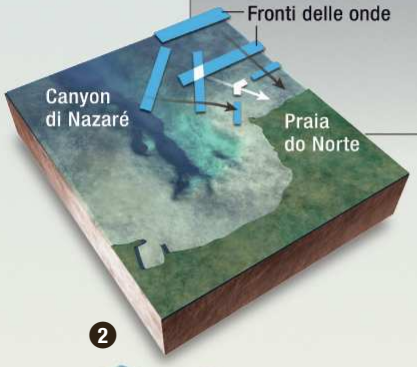
I cavalloni giganteschi, che raggiungono i 21-24 metri vicino alla riva, possono svilupparsi in pochi luoghi al mondo (*mappa*). Iniziano come onde piccole, che assumono la struttura di movimenti cilindrici. Quando venti sostenuti possono soffiare per molti chilometri e per lungo tempo, ingrossano costantemente le onde ❶ rendendole più alte, lunghe e veloce (*grafico*). Quando una di queste onde si avvicina alla terraferma, un canyon sottomarino o una montagna sottomarina con una forte pendenza vicino alla riva può concentrarne l'energia, come una lente con la luce, spingendo l'acqua verso il cielo in un'enorme cavallone ❷. Le curve del canyon a Nazaré, in Portogallo, aumentano l'effetto (*illustrazione in basso*).





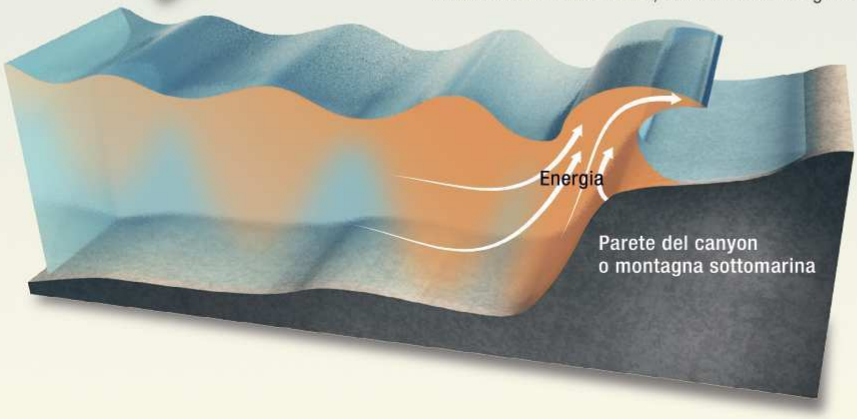
Formazione dell'onda

Venti forti e costanti, spesso generati da tempeste, fanno sì che le molecole d'acqua vibrino con una traiettoria circolare, formando piccole orbite che i venti trasformano in onde cilindriche, delle quali vediamo la sommità. Mulinelli d'aria tra le onde le spingono avanti. Via via che i venti continuano a soffiare su lunghe distanze, dette *fetch*, le onde diventano sempre più alte e il periodo aumenta. Gran parte dell'energia è concentrata sotto la superficie, e può perdere di intensità parecchie decine di metri più in basso. Le onde continuano ad avanzare, susseguendosi a velocità che a volte superano i 30 nodi.



L'energia si concentra

A Nazaré la parete ripida di un canyon riflette una parte profonda dell'onda verso l'onda più grande, generando un'interferenza costruttiva che spinge in alto l'acqua formando un picco piramidale, e infine un'onda che si frange sulla riva con un boato. Un'onda di 4,5 metri può provocare un cavallone di 24. Variazioni dell'effetto canyon possono verificarsi nelle località di Jaws, a Maui, Mavericks, in California, e Teahupoo, a Tahiti. Una ripida montagna sottomarina genera onde colossali a Cortes Bank, 160 chilometri al largo di San Diego.



Previsioni migliori

Gli esperti stanno rendendo sempre più precise le loro previsioni dei cavalloni abbinando modelli meteorologici e delle onde a programmi di intelligenza artificiale, che valutano un flusso di dati in arrivo da telecamere sui surf, boe miniaturizzate e addirittura account di social media sulle condizioni dell'acqua. Presto ai surfisti basterà tenere un tablet su una determinata riva per ricevere previsioni personalizzate.

Chris Dixon, scrittore *freelance*, è l'autore di *Ghost Wave: the Discovery of Cortes Bank and the Biggest Wave on Earth* (Chronicle Books, 2011).

Dati profondi

Le onde che si frangono su una qualsiasi riva hanno un'origine simile. Una brezza sopra l'oceano trasforma piccole increspature in onde. Se venti forti riescono a soffiare per molti chilometri, le onde si allungano e crescono fino a diventare colonne d'acqua orizzontali. Immaginate una serie di tronchi, per la maggior parte sommersi, nell'acqua che scorre verso una costa. Se l'onda sopra la superficie del mare è alta 3 metri, il resto del tronco potrebbe arrivare molte decine di metri più in basso.

Le onde giganti sono generate da forti venti provenienti da grandi tempeste. Quelle che sfrecciavano verso Nazaré a 35 nodi avevano preso vita durante una burrasca cominciata quattro giorni prima, a quasi 5000 chilometri di distanza, tra Terranova e la Groenlandia. Koxa era riuscito a prepararsi grazie ai passi da gigante fatti solo nell'ultimo decennio nelle previsioni delle onde. Le prime generazioni di modelli delle onde avevano macinato enormi quantità di dati, recenti o in tempo reale, rilevati da satelliti, navi e osservazioni di venti e onde con boe. Per prevedere se vicino alla riva si sarebbero formate grandi onde si realizzavano modelli in base all'interazione tra tutti i dati e le mappe del fondo marino.

Da qualche anno a questa parte i modelli globali di venti e onde sono diventati sempre più precisi, via via che supercomputer sempre più potenti assimilano dati di ogni tipo: tutto ciò che va dalle onde capillari alte pochi centimetri, misurate dai satelliti, alle correnti di marea, fino all'attrito incontrato dai venti sul ghiaccio marino o sull'acqua.

Oggi inoltre si capisce meglio come il fondo marino vicino alla riva contribuisca all'infrangersi delle onde. A Nazaré, da quasi 5000 metri d'acqua e oltre 200 chilometri di piattaforma continentale si innalza uno dei canyon sottomarini più grandi del mondo, per poi formare un imbuto che arriva proprio fino al promontorio sulla riva. Il canyon concentra un'onda, come fa una lente con la luce. Comprime l'energia dell'onda mentre il fondo la porta in alto, e la spinta in avanti dell'acqua provoca un frangente gigantesco. «Un'onda cilindrica lunga di 4,5 metri in profondità può creare un cavallone alto fino a 24 metri», spiega Mark Willis, capo delle previsioni a Surfline. «Il motivo è quell'incredibile, esagerato canyon».

Nonostante i miglioramenti, i modelli hanno ancora difficoltà con le piccole aree geografiche come quella di Nazaré, spiega Hendrik Tolman, ex direttore dell'Environmental Modeling Center alla NOAA. Differenze minime nella direzione del moto ondoso, o perfino nella fase della marea, possono ridurre o aumentare fortemente l'altezza delle onde. Qui entra in gioco l'apprendimento automatico. Sostanzialmente questo sistema intreccia grandi quantità di dati passati con le osservazioni attuali per dedurre le caratteristiche delle onde future. L'anno scorso, in uno studio sulla Baia di Monterey, in California, ricercatori dell'IBM hanno inserito in un gigantesco foglio di calcolo, con 11.078 righe e 741 colonne, dati della NOAA su meteo e onde, aggiornati di ora in ora, per il periodo dal 2013 al 2017. Grazie all'abbinamento con le osservazioni attuali, il sistema di intelligenza artificiale ha permesso di migliorare l'efficienza computazionale del 12.000 per cento rispetto ai modelli basati solo sulla dinamica delle onde e del meteo.

Presto surfisti, capitani di navi, addetti alla raccolta di energia delle onde e allevatori di pesci realizzeranno modelli delle onde esattamente nella posizione in cui si trovano, sui loro iPad. Per migliorare ulteriormente le previsioni per punti specifici, Willis e Ben Freeston, fondatore del portale sul surf Magicseaweed e responsabile della scienza dei dati a Surfline, stanno usando l'apprendimento automatico per realizzare sostanzialmente una rete neurale di osservazioni aggiunte dalle telecamere sui surf e dai reporter pagati da Surfline; include addirittura gli aggiornamenti inseriti dai surfisti nei *social media*. Secondo Freeston, presto i surfisti a Nazaré e in altre località con grandi onde – come Jaws, a Maui, e Cortes Bank, al largo di San Diego, in California (*si veda il box nella pagina di fronte*) – forniranno dati a programmi di intelligenza artificiale. Piccolissime boe per il rilevamento di dati saranno impiegate fuori dalla zona delle onde, trasmettendo informazioni sui moti ondosi agli smartphone esaminati dai surfisti a riva.

«Le boe della NOAA costano da 50.000 a 60.000 dollari, mentre per queste ne possono bastare 99», spiega Freeston. «Così i dati aumenteranno in modo esponenziale».

Un sogno da cavalcare

Una volta che un surfista è in acqua, però, la tecnologia non lo aiuta. Per prendere le onde più grandi al mondo è fondamentale l'esperienza. Il mattino dopo la notte insonne di Koxa, le onde si stavano avvicinando alla riva di Nazaré da nord-ovest: l'angolazione ideale per la magia del canyon. Koxa e un gruppo di amici assistevano meravigliati mentre il canyon respingeva le onde l'una contro l'altra, formando giganteschi picchi triangolari che svettavano davanti al promontorio. Koxa e Sergio Cosme, il suo pilota di moto d'acqua, hanno girato in tondo fuori dalle onde per un'ora e mezza, ma Koxa non ne aveva ancora presa una. Alla fine Cosme ha gridato: «Arrivano onde enormi!». Koxa sapeva che la forte brezza di terra avrebbe reso la prima onda estremamente irregolare, quindi non l'ha affrontata. La seconda aveva una superficie più uniforme. Poi è arrivata la terza. «Era liscia come il vetro, bellissima», racconta Koxa. «Era davvero enorme. Le ho dato un'occhiata, ma solo una. Perché a guardarla ancora forse mi sarebbe passata la voglia di andare».

Cosme ha trainato Koxa fino all'apice di un'onda che poteva avere una potenza intorno al miliardo di watt. Quando Koxa ha lasciato andare la corda, a un'altezza di sette piani, si è ricordato il suo mantra: «Devi scendere dritto». A quel punto, racconta, «sto solo scappando per salvarmi la vita. Tanta di quell'energia. Non sono mai andato così veloce su una tavola da surf. Poi all'improvviso mi trovo all'ombra dell'onda. Sento il buio dietro di me. Ma sono abbastanza veloce, penso di poterla superare. E ci riesco. Oh, Dio mio, ho appena preso l'onda più grande della mia vita».

Quella cavalcata si è rivelata un nuovo record mondiale: dal ventre alla cresta, l'onda aveva un'altezza di 24,38 metri, misurata dai giudici presenti sul posto con un'analisi fotografica. A una cerimonia di premiazione, qualche mese dopo, Koxa ha detto che ci è voluta la combinazione tra la tecnologia di previsione, l'esperienza di surfista e il coraggio. «È un sogno diventato realtà». ■

PER APPROFONDIRE

Magicseaweed, rapporti sul surf e previsioni: **www.magicseaweed.com.**
Surfline, portale sulle onde con previsioni: **www.surfline.com.**

Illustrazione di Don Foley Fonte: Sean Collins Surfline (*grafico del fetch*)

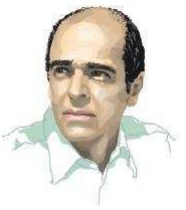
AMBIENTE

Blu come il carbonio

Una parte importante dell'anidride carbonica presente in atmosfera è assorbita da ecosistemi costieri che tuttavia sono a rischio a causa delle attività umane

di Jacopo Pasotti

Jacopo Pasotti ha un passato da geologo e un presente da comunicatore scientifico e giornalista. Ha vissuto in Australia e in Israele. Ora è in Svizzera, ma lavora principalmente in Italia. Nel 2011 ha ricevuto il premio Piero Piazzano per il giornalismo scientifico. Per Codice Edizioni è autore di *La scienza in vetta* e *La scienza in valigia*.



Forse perché sono tanto vasti, o forse perché essendo noi animali terrestri li abbiamo sopravvalutati. Oceani e mari sono stati a lungo considerati inattaccabili, risorse inesauribili nel tempo, nello spazio, nelle più oscure profondità. Un mondo acqueo perenne fonte di nutrimento e, da quando i cicli globali del carbonio sono oggetto di studio, un serbatoio capace di assorbire e immagazzinare ingenti quantità di CO_2. Anche, e soprattutto, quella generata dalle attività umane.

L'ambiente marino è difficile da studiare. È spesso inaccessibile, e addirittura insidioso. Eppure sarebbe importante conoscerlo meglio, perché di tutto il carbonio catturato dalla attività biologica terrestre più della metà è assorbito dagli organismi marini. Della gigantesca riserva di carbonio marino molta è fissata dal plancton e, in parte, sprofonda negli abissi.

È soprattutto l'importanza degli ecosistemi costieri ad aver attratto l'attenzione degli scienziati negli ultimi dieci anni: il 50 per cento della riserva di carbonio marino (fino al 70 per cento secondo lo United Nations Environment Programme, UNEP) è catturato e immagazzinato dagli ecosistemi marini costieri, in particolare da mangrovie aree paludose salmastre e piante e praterie sottomarine. Tanto che ora ecologi e biologi gli hanno riservato una nuova nomenclatura: si parla infatti di «carbonio blu». Si tratta di una sottile cintura verde che circonda le coste continentali, meno dello 0,5 per cento dei fondi marini. Insomma, è perfino difficile da visualizzare su una carta.

Chiaro, quindi, che l'incredibile potenziale del carbonio blu potesse a lungo sfuggire all'attenzione di scienziati e decisori politici. Ma ora si sa che foreste di mangrovie, estuari e zone umide possono catturare tra 235 milioni e 450 milioni di tonnellate di carbonio all'anno (un milione di tonnellate equivale a 18.000 container). Dunque l'attenzione su questi ecosistemi è aumentata: non è poca cosa catturare nel terreno da un quinto alla metà delle emissioni globali dell'intero settore dei trasporti (circa 1000 milioni di tonnellate l'anno, secondo stime UNEP).

Ecosistemi, questi, che essendo lontani, perché in mare, ma anche vicini, perché lungo le coste abitate, sono tra i più deteriorati della Terra. Sono ad alto rischio di scomparire, di diventare funzionalmente inutili sia come risorse per le comunità umane costiere sia per lo stoccaggio della CO_2. Eppure raramente raggiungono i mezzi di comunicazione, o hanno il ruolo che gli spetterebbe nelle negoziazioni climatiche.

Il potere delle mangrovie

Se molti associano paludi e mangrovie tropicali a saghe piratesche e avventurose dello scrittore Emilio Salgari o a fumetti di esploratori dall'animo naturalista in fuga dalla civiltà urbana, per ecologi, biologi e climatologi le mangrovie sono un'opportunità enorme. Tra paludi salmastre, praterie sottomarine e foreste di mangrovie, a svolgere il ruolo principale sono proprio queste ultime perché immagazzinano la maggior quantità di carbonio.

Purtroppo però il carbonio blu costiero è un attore giovane nel teatro delle discussioni su mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici. «Le mangrovie sono entrate nella scena climatica internazionale nel 2013 quando sono state riconosciute dalla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici», spiega Linwood Pendleton, direttore del Dipartimento di politiche degli oceani e delle coste della statunitense Duke University. «Un primo documento della convenzione citava le stime di un nostro studio pubblicato l'anno prima su "PLoS One". Presentavamo dati sul carbonio rimesso in circolo a causa della distruzione degli habitat negli ecosistemi costieri. Ma già da tempo organizzazioni come Unione internazionale per la conservazione della natura e Conservation International erano attive nella promozione del carbonio blu costiero come potenziale pozzo per la CO_2 atmosferica, sottolineando come questi ecosistemi fornivano allo stesso tempo importanti benefici alle comunità costiere», racconta.

IN BREVE

Carbonio blu (*blue carbon*) è il termine usato per indicare l'anidride carbonica atmosferica – prodotta anche dalle attività umane – catturata e immagazzinata dagli oceani e dagli ecosistemi costieri del mondo.

Negli ultimi decenni si è scoperto che la maggior parte di questa gigante riserva di carbonio marino è trattenuta dalle mangrovie, dalle aree paludose salmastre e da piante e praterie sottomarine.

Nonostante il loro ruolo cruciale nella lotta al riscaldamento globale, questi ecosistemi costieri sono poco tutelati e sono sotto pressione per la crescita della popolazione lungo le coste, per le attività agricole, come la coltivazione di riso, e per l'acquacoltura.

Mathieu Foulquié/AGF (*pagine precedenti*)

Praterie in fondo al mare

Per praterie sottomarine si intendono comunità di piante acquatiche note come fanerogame marine. Vivono lungo i litorali di ogni continente (a eccezione dell'Antartide) e quasi a ogni latitudine. Attenzione, non si tratta di alghe: queste ultime infatti hanno una struttura e tessuti più semplici; le fanerogame marine hanno invece radici, foglie, frutti, fiori e semi come vere e proprie piante.

Sono piante eliofile, ovvero preferiscono la luce diretta del Sole per poter portare a termine la fotosintesi, e formano un habitat sommerso importante perché producono sostanza organica e cibo per altri organismi, e proteggono la costa dall'erosione. Nel Mar Mediterraneo si conoscono cinque specie di fanerogame marine, di cui la più nota è la *Posidonia oceanica* (*mostrata nella foto*).

Franco Banfi/Getty Images

Pendleton e colleghi portavano l'attenzione su un aspetto importante: se le cinture verdi costiere avevano una capacità incredibile di sottrarre CO_2 dall'atmosfera, la loro distruzione significava rimettere in circolo enormi quantità di carbonio, da millenni sigillato nel terreno.

Il perché lo spiega Daniel Murdiyarso, del Center for International Forestry Research, in Indonesia: «Negli ecosistemi costieri la maggior parte del carbonio non è solo nella pianta emersa, ma è nei primi 2-3 metri di terreno, talvolta fino a sei. Nella preparazione delle vasche per l'acquacoltura, che è la causa primaria della deforestazione delle mangrovie, non solo si tagliano o si bruciano le piante, ma si rimesta e si scava il terreno. Questo rimette in circolo carbonio accumulato nel tempo». Basta guardarlo, il terreno appena scavato: può essere nero come la pece.

Pendelton e colleghi stimavano che la perdita di questi ecosistemi contribuisse tra il 3 e il 19 per cento alle emissioni globali per la deforestazione, che corrispondeva a danni economici tra 4 e 33 miliardi di euro l'anno. In altre parole, il degrado degli ecosistemi costieri può rilasciare circa 0,45 miliardi di tonnellate all'anno di CO_2 in atmosfera. Nella stima elaborata dagli studiosi della Duke University, quindi, tutto questo produce emissioni pari a quelle prodotte annualmente dal Regno Unito.

Queste cifre dimostravano che il disastro che stava avvenendo era più che grande: colossale. Tutto ciò pur tra le incertezze sui valori reali dovute all'ignoranza sullo stato di questi ecosistemi e sui cicli di carbonio a essi legati.

Sono passati alcuni anni, e quelle incertezze si sono lievemente ridotte. Ora si sa che «le mangrovie contribuiscono al 10-15 per cento alle emissioni di CO_2 dovute alla deforestazione», dice ancora Murdiyarso. Che accompagna il dato a un'altra osservazione: «la percentuale non è irrilevante, soprattutto se si considera che la superficie mondiale delle mangrovie equivale allo 0,39 per cento delle foreste globali», dice.

Le foreste di mangrovie si trovano alle latitudini tropicali e subtropicali, dalla Cina al Messico, e coprono appena 137.000 chilometri quadrati della superficie terrestre. Un'area quasi ridicola rispetto ai 40 milioni di chilometri quadrati delle foreste globali. Eppure per ettaro possono sequestrare fino a cinque volte più CO_2 rispetto alle foreste pluviali. In altre parole, in termini di rilascio di CO_2, un ettaro di foresta di mangrovie riconvertito in acquacoltura equivale a cinque ettari di foresta pluviale convertiti a uso agricolo. Perfino le apparentemente poco importanti praterie sottomarine immagazzinano per ettaro tanto carbonio quanto un ettaro di foresta tropicale.

L'oceano è dunque un immenso pozzo di carbonio organico (tralasciando la componente fisica e inorganica del ciclo del carbonio), ma diluito. Gli ecosistemi litoranei invece sono dei concentrati.

Per la loro capacità di assorbire carbonio dall'atmosfera, attraverso la pianta fino nel terreno, di catturarlo e sigillarlo per millenni, le mangrovie (seguite da paludi e praterie sottomarine) sono regine di un piccolo ma potente regno nella mitigazione del cam-

biamento climatico. Diversamente che sulla terraferma, il carbonio blu si forma «a mollo» in acque salmastre o salate, in ambienti anaerobici, in cui la decomposizione è nulla o quasi, e sono quindi capaci di stoccarlo per centinaia o migliaia di anni. Neppure gli oceani sono in grado di trattenere il carbonio organico tanto a lungo, se non in minima parte. Mentre foreste tropicali e boreali conservano il carbonio nel tronco degli alberi, ma ne trasferiscono poco nel terreno (dove viene poi in gran parte decomposto).

Si tratta insomma di sistemi di stoccaggio «pronti per l'uso», gratuitamente offerti dalla natura, che offrono una serie di servizi per l'essere umano tra cui sicurezza dei litorali (per esempio nella riduzione dell'impatto dei tifoni o dell'erosione costiera) e risorse ittiche. E dovranno essere tutelati. Almeno in futuro, perché finora non è stato così.

Dove e come scompare

Che le coste continentali si stiano deteriorando praticamente ovunque puntiate il dito sul globo terrestre non è una novità. «Il processo dura da secoli, ma la velocità con cui sta avvenendo è in rapida accelerazione; la maggior parte delle praterie di *Posidonia oceanica* delle coste italiane è scomparsa nel dopoguerra, con l'introduzione della pesca a strascico», osserva Roberto Danovaro, dell'Università Politecnica delle Marche, impegnato nel progetto europeo MERCES (Marine Ecosystem Restoration in Changing European Seas) che sta valutando gli effetti del trapianto di praterie di piante sottomarine lungo le coste marchigiane e romagnole: «L'importanza di questi habitat è legata ai servizi ecosistemici che forniscono, dalla cattura di carbonio alla protezione delle coste, fino alla protezione delle risorse biologiche, a partire dagli stadi giovanili di specie ittiche commerciali», dice Danovaro.

Uno studio pubblicato nel 2015 su «Scientific Reports» da un gruppo internazionale di studiosi affermava che nel solo Mar Mediterraneo attualmente ci sono 1,224 milioni ettari di *P. oceanica*, il 34 per cento in meno rispetto a cinquant'anni fa. Mentre uno studio pubblicato nel 2010 su «PLoS One», diretto da Beth Polidoro, della Old Dominion University di Norfolk, negli Stati Uniti, mostrava che globalmente le mangrovie si sono ridotte del 20-35 per cento rispetto alla loro estensione nel 1980 (ma con punte fino al 70 per cento, come nell'isola di Giava, in Indonesia).

Fino a oggi la perdita di questi ecosistemi è proceduta a un tasso che ha toccato il 7 per cento annuo per le foreste di mangrovie indonesiane. Attualmente possiamo dire che le foreste costiere stanno scomparendo a un tasso medio dell'1 per cento annuo (comunque il doppio rispetto alle foreste continentali e con tassi maggiori in alcune regioni). Ai tassi di conversione attuali, più di un terzo delle paludi costiere e delle praterie sottomarine (ma la totalità se si guarda solo nel Mediterraneo) e quasi la totalità delle mangrovie potrebbero essere perse nei prossimi 100 anni, scriveva Pendleton su «PLoS One».

Tra le cause principali del processo c'è la crescita della popolazione lungo le coste, che aumenta in maniera sproporzionata rispetto alla crescita mondiale. Secondo le Nazioni Unite, nel 2010 la densità di popolazione media nelle aree costiere (entro 100 chilometri dalla costa) era di 99 persone per chilometro quadrato, mentre all'interno dei continenti il valore era 38. Nel 2050 la densità lungo le coste salirà a 134, mentre all'interno sarà 52 per chilometro quadrato. A meno di una colonizzazione intelligente, l'impatto sulle risorse marine e costiere non potrà che peggiorare.

La pressione umana si traduce poi nella deforestazione per la coltivazione. Storicamente di riso, ma oggi anche per le piantagioni di palma da olio e, soprattutto, per l'aquacoltura. In particolare per la crescita di gamberi, di cui Europa, Stati Uniti, e Giappone sono principali consumatori.

Negli ultimi trent'anni l'impennata nella deforestazione delle mangrovie è stata legata alla cosiddetta «rivoluzione blu», la crescita della acquacoltura. Mentre la pesca languisce negli oceani, l'aquacoltura non fa che crescere. Si pesca di meno, ma tra il 1960 e il 2012 il consumo globale di prodotti ittici è passato da 9,9 a 19 chilogrammi *pro capite* all'anno. Con punte fino a 30 chilogrammi in alcuni paesi asiatici. L'aquacoltura sopperisce al divario tra stock ittici che crollano e una domanda insistente di prodotti ittici. Nel 1970 la produzione globale di pesci e crostacei era di 16.000 tonnellate. Nel 2014 se ne producevano 66 milioni di tonnellate, un aumento di tre ordini di grandezza in meno di cinquant'anni. Oggi il settore fornisce lavoro a almeno 58 milioni di persone.

«Un tempo era una rarità avere sul piatto dei gamberetti», dice Tiziano Scovacricchi, dell'Istituto di scienze marine del Consiglio nazionale delle ricerche. «Ciò che una volta era considerato una specialità costosa, ora è merce comune, economica. Soprattutto quando il prodotto viene da paesi in cui la manodopera costa poco», spiega.

Il risultato è che l'appetito per il gamberetto, soprattutto alle nostre latitudini, sta avendo un impatto in paesi come Indonesia e Vietnam, ma anche Ecuador, Nigeria e Madagascar. «Negli ultimi cinquant'anni in Indonesia abbiamo perso il 40-50 per cento delle foreste di mangrovie. Oggi ne restano circa 13 milioni di ettari, e di questo passo ho paura che le mangrovie scompariranno molto presto. Anche in meno di mezzo secolo», dice Murdyiarso.

L'ecologo vive in Indonesia, dove il taglio delle mangrovie ha assunto tratti drammatici. Nell'isola di Giava, un tempo interamente coronata da foreste costiere, il 70 per cento di queste è già scomparso. E anche se il tasso di deforestazione è diminuito grazie

RITRATTO NUMERO DUE

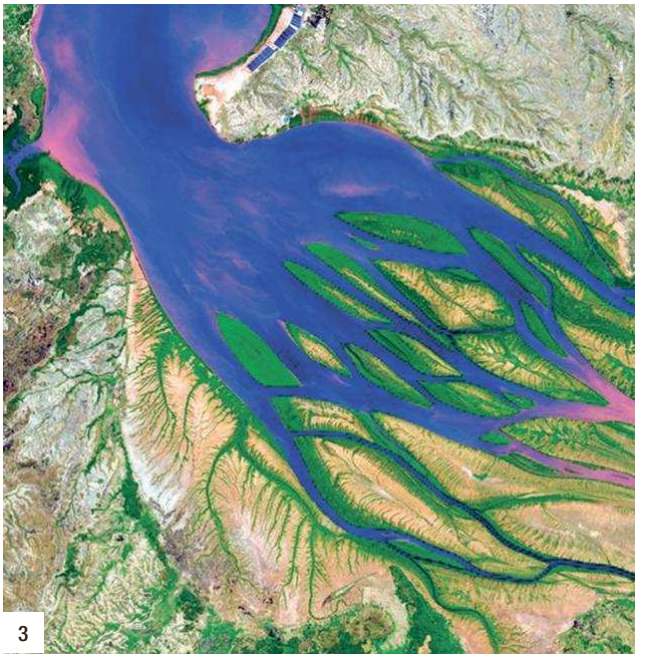
Le capacità uniche delle mangrovie

Le mangrovie sono piante adattate a vivere in un ambiente ostile. Crescono in terreni anossici (l'ossigeno è poco o assente), a salinità proibitive per altre piante, e sopportano notevoli oscillazioni di maree. Se ne conoscono circa 80 specie, distribuite lungo le coste tropicali e subtropicali. Sviluppano un intricato sistema di radici che da un lato le rende più resistenti alle sollecitazioni di onde e maree e dall'altro intrappolano i sedimenti: per questo sono considerate un'ottima protezione naturale da uragani e tsunami di modesta entità. Tra le loro radici trovano riparo molte specie ittiche nel loro stadio larvale, prima di trasferirsi nelle acque oceaniche. Tra gli adattamenti, la presenza di radici aeree dette pneumatofori, che permettono di evitare la morte per anossia e che spuntano, quasi come boccagli, dalla superficie dell'acqua.

Le stesse radici riescono a filtrare la maggior parte del sale delle acque salmastre in cui sono immerse. Un'altra parte del sale può essere rilasciata dalle foglie. Questo ambiente è, appunto, fisicamente e chimicamente ostile, e ciò genera una continua perdita di materiale organico dalle piante, che restando intrappolato tra le radici si deposita nel terreno dove la decomposizione è impedita dalla assenza di ossigeno. Per questo motivo, ingenti quantità di carbonio possono rimanere sigillate nel terreno fino a quando l'ecosistema è sano.

1

2



3

Visti dall'alto. La parte in Bangladesh di Sundarbans, la foresta di mangrovie più grande al mondo (*1, zone scure*); paludi a mangrovie nel delta dell'Ord River, in Australia (*2*); il tratto finale del fiume Betsiboka, in Madagascar, colonizzato da mangrovie (*3, verde).*

a nuove leggi che proteggono questo habitat, il rischio di ridurre a poco più che brandelli le foreste di mangrovie è autentico. «Sappiamo delle nuove leggi per tutelare le coste – dice Murdyarso – ma per ora si è fatto poco».

Esiste una via d'uscita?

La buona notizia è che l'attenzione dei decisori politici per gli ecosistemi marini nel mercato del carbonio sta (lentamente) crescendo. Ci sono iniziative di mitigazione che potrebbero considerare il carbonio blu. Una è il programma REDD+, nato nel 2010, che mira a ridurre le emissioni causate dalla deforestazione e a favorire la conservazione delle foreste. In questo schema i paesi tropicali possono essere pagati dai paesi emettitori se si impegnano a proteggere e gestire in maniera sostenibile le foreste.

Il problema di questo sistema è che, essendo nato per le foreste continentali, suggerisce un mercato fondato sul carbonio catturato sopra al terreno, non sotto la superficie. E quindi il grande potenziale delle mangrovie, o delle praterie sottomarine e delle paludi, la cui biomassa è sostanzialmente conservata nel terreno, potrebbe non essere tanto attraente in un meccanismo di mercato per ora concepito per la parte esposta della foresta. Secondo Pendleton servono maggiori studi per cercare di includere gli ecosistemi costieri nei meccanismi supportati dalla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici.

Si tratta di opportunità comunque da non perdere, sarebbe lecito pensare. «Evitando di tagliare le ultime foreste di mangrovie, l'Indonesia potrebbe raggiungere i suoi obiettivi di riduzione delle emissioni del 26 per cento nel 2020», dice Murdiyarso. Eppure solo il 6,9 per cento delle foreste di mangrovie si trova in aree protette. E meccanismi di mercato che diano un valore economico al carbonio blu andrebbero considerati, visto che come sistema di mitigazione è tanto efficiente. È economico, efficace, e favorisce altri servizi tra cui l'adattamento agli impatti legati alla risalita del livello marino o all'aumento degli eventi meteorologici estremi.

Spiegano Nesar Ahmed e Marion Glaser, del Leibniz Center for Tropical Marine Ecology di Brema, in Germania: «Se grazie a REDD+ si ripristinasse la metà delle foreste di mangrovie distrutte per l'aquacoltura, si catturerebbero fino a 1,3 milioni di tonnellate di carbonio blu all'anno». Gli scienziati affermano che «REDD+ è un'opportunità enorme, fin qui sottovalutata, per la conservazione degli ecosistemi marini e dei servizi che forniscono».

In questa ottica, Pendleton e colleghi hanno stimato che se conservazione e ripristino di una foresta continentale valgono circa 8000 dollari per ettaro, le mangrovie possono superare i 17.000 dollari (paludi costiere e praterie sottomarine si assestano su 6000 dollari). In Europa, che non ha mangrovie, praterie di *Posidonia* e aree umide litoranee stoccano CO_2 per circa 180 milioni di dollari.

Un primo passo sarebbe interrompere immediatamente la deforestazione delle mangrovie e la perdita delle praterie di *Posidonia* nei mari europei. Un secondo passo sarebbe ripristinare gli ambienti costieri degradati o convertiti ad altri usi. I paesi con questa risorsa saranno capaci di sfruttarla? E lo faranno in tempo? Attenzione e conoscenze crescono rapidamente, le azioni per la conservazione degli ecosistemi ricchi di carbonio blu, purtroppo, no. ■

PER APPROFONDIRE

Estimating Global "Blue Carbon" Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. Pendleton L. e altri, in «PLoS One», Vol. 7, n. 9, e43542, 4 settembre 2012.

The Loss of Species: Mangrove Extinction Risk and Geographic Areas of Global Concern. Polidoro B.A. e altri, in «PLoS One», Vol. 5, n. 4, e10095, 8 aprile 2010.

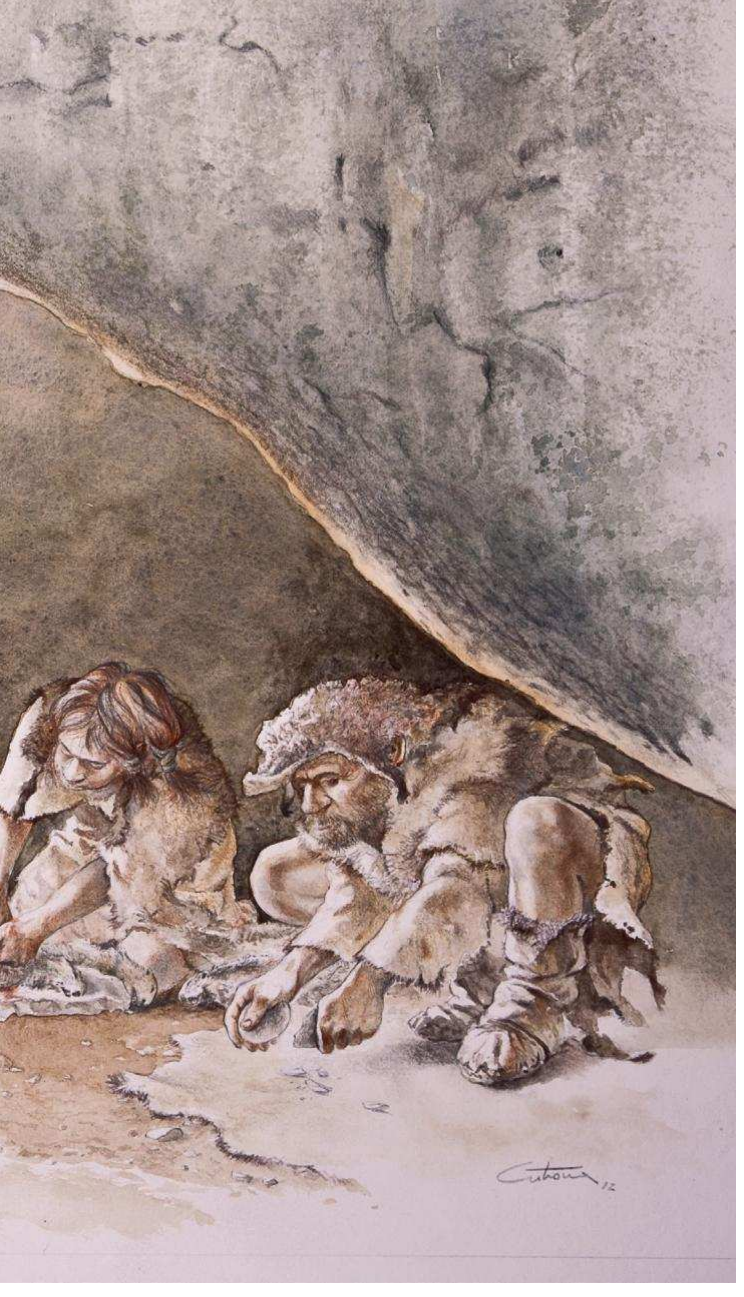
Informazioni sul ruolo degli ecosistemi di mangrovie e delle loro conservazione in Indonesia sul sito di Journalism Grant: **https://innovation.journalismgrants.org/projects/a-fistful-of-shrimps.**

Copernicus Sentinel data (2016)/ESA/SPL/AGF (*1*); Bernhard Edmaier/SPL/AGF (*2*); NASA/SPL (*3*)

I Neanderthal a caccia di orsi

Durante il Paleolitico in Europa gli uomini di Neanderthal praticavano un'attività rischiosa ma importante per la loro economia, la caccia agli orsi che trovavano riparo nelle caverne

di Marco Peresani e Matteo Romandini



Difficile dimenticare la scena dell'attacco a Leonardo Di Caprio nella parte del cacciatore di pelli Hugh Glass nel film *Revenant-Redivivo* (2015). Impressionante non solo per l'accuratezza dei particolari e della dinamica, così vicina alla realtà, ma anche per le dimensioni dell'animale, un'orsa femmina della specie *Ursus arctos horribilis*, cioè l'orso bruno nordamericano meglio noto come *greezly*, o *grizzly*. I paleontologi tendono a confrontarne la taglia con quella dell'orso delle caverne, inquadrato dal punto di vista tassonomico come *Ursus spelaeus* o *Ursus ingressus*.

Nel nostro immaginario l'orso è un animale particolare, forse perché è l'unico mammifero europeo che può ergersi eretto e somigliare all'essere umano, con le zampe anteriori che possono sembrare braccia e le gambe con «pantaloni a vita bassa». In effetti, la presenza di grandi orsi nelle caverne della preistoria è uno degli scenari più radicati nella nostra cultura: spesso questi animali sono rappresentati in ricostruzioni di combattimenti e lotte con esseri umani primitivi. Inoltre, da quasi un secolo e mezzo l'orso delle caverne è uno degli attori principali delle riproduzioni dei modi di vita legati al Paleolitico in musei (per esempio al Museo archeologico del Finale, a Finale Ligure, vicino a Savona), esposizioni e mostre di tutta Europa e non solo, tanto che resti di questi grandi plantigradi estinti (crani, scheletri completi e così via) si possono trovare ricostruiti e montati sia in grandi allestimenti museali, da Parigi agli Stati Uniti, sia in piccole esposizioni permanenti come quella del Museo della grotta dell'Altopiano di Pradis a Clauzetto, nelle Prealpi carniche, in provincia di Pordenone.

Terrificante ma quasi vegetariano

L'orso delle caverne è sempre stato visto e «ricostruito» come un essere terrificante, probabilmente a causa delle enormi dimensioni e delle proporzioni dei suoi resti scheletrici. In realtà, come dimostrano recenti studi condotti sulla sua dieta attraverso l'analisi di elementi chimici del collagene, cioè la principale proteina delle ossa, nel corso della sua evoluzione questo animale era diventato quasi prevalentemente vegetariano, trasformando l'ultimo premolare in un dente simile ai molari e perdendo i premolari precedenti: la superficie masticatoria risultante era diventata una macina capace di triturare anche i vegetali più coriacei, facilitandone la digestione. Questa modifica ha implicato la formazione di sporgenze ossee sulla calotta cranica, definite creste sagittali, utili a sostenere potenti inserzioni muscolari, e di denti molari e canini di dimensioni impressionanti. Ne sono derivate le ricostruzioni di cui sopra, in grado di attrarre e impressionare il pubblico.

In effetti, alto 1,5 metri dalla pianta del piede al dorso (il cosiddetto garrese) e lungo più di 3,5 metri, tra 300.000 e 24.000 an-

ni fa, data della sua estinzione, l'orso delle caverne è stato uno degli animali più grandi nell'Europa del Pleistocene (ovvero tra 2,58 milioni e 11.700 anni fa). Le taglie dell'orso bruno attuale (*U. arctos*) e di quello delle caverne, rispettivamente in media di 260 e 600 chilogrammi, risultano marcatamente diverse, tuttavia i profili eto-ecologici di questi due plantigradi sono molto simili. Questi profili sintetizzano l'espressione comportamentale dell'animale (etologia) e la sua interazione con l'ambiente (ecologia). Con una durata di vita tra le più elevate tra i carnivori, 20-30 anni, questi animali sono adatti a climi temperato-freddi, prediligono vegetazioni semi-forestate e possono vivere in gruppi familiari o individualmente, spostandosi in un territorio di estensione variabile da 100 a 1000 chilometri quadrati.

La taglia degli ursidi attuali, la loro stabilità strutturale e la qualità delle popolazioni sono in molti casi fortemente influenzate dalla presenza di acqua, che determina la scelta del luogo adatto al rifugio, e dall'abbondanza di erbivori; addirittura per madri e prole dall'orientamento dei versanti (sud, sud-est), probabilmente per sfruttare al massimo l'esposizione al Sole.

Già dalle prime ricerche paleontologiche, a metà del XIX secolo, è stata evidente la grande quantità di ossa di orsi delle caverne in molte delle grotte d'Europa. Fin da 400.000 anni fa, esseri umani e orsi hanno condiviso le grotte in questione, anche sulle Alpi e sugli Appennini. Lo hanno dimostrato i numerosi ritrovamenti, avvenuti nel corso del XX secolo, di ossa di plantigradi in associazione a manufatti litici e interpretati sia come prova di una caccia di questi carnivori sia come accumulo di ossa per morte naturale in grotte frequentate anche da esseri umani.

Un esempio famoso lo abbiamo in Italia, in Alto Adige. Il 23 settembre 1987, in una giornata di fine estate, l'albergatore e guida alpina Willy Costamoling si introdusse in una caverna delle Conturines, a 2800 metri di altezza, a caccia di fossili. E fece un'affascinante scoperta, trovandosi di fronte a un cimitero di scheletri di orsi preistorici di enormi dimensioni, i cui resti erano ancora articolati tra loro come se fossero tenuti insieme dai tessuti «molli» (cioè in connessione anatomica). Si trattava di orsi delle caverne descritti come *Ursus ladinicus* e vissuti tra 60.000 e 30.000 anni fa. A decenni di distanza, resti di orsi delle caverne sono scoperti in tutta la penisola e sono abbondanti nell'arco alpino, dalle Alpi liguri al Friuli-Venezia Giulia. Nella regione subalpina i Colli Berici, vicino a Vicenza, dovevano essere un'area di rifugio, dove questi animali disponevano di abbondanti risorse trofiche (risorse alimentari adatte al loro sostentamento) e di grotte e ripari adatti al superamento dei rigidi periodi invernali.

Un ruolo importante

Le caratteristiche ecologiche ed etologiche degli ursidi sono simili a quelle di una specie umana estinta: stiamo parlando dei nostri cugini Neanderthal (*Homo neanderthalensis*), vissuti tra circa 400.000 e 40.000 anni fa. Oltre ad affinità nelle strategie di cattura delle prede e nel regime alimentare, neanderthaliani e ursidi hanno condiviso tipi di habitat e ripari usati per la protezione, soprattutto dei più giovani. In particolare l'uso di rifugi per la difesa e l'ibernazione degli orsi inducono intense frequentazioni delle cavità carsiche, dall'inverno alla primavera inoltrata, fino a quando anche le madri con cuccioli nati entro l'anno abbandonano il riparo per lunghi periodi.

Nelle «grotte a orso» però, distinte in «grotta-riparo» e «cucciariparo» a seconda della funzione che assumevano e dell'identità degli occupanti (maschi adulti o femmine con cuccioli e giovani), la storia degli insiemi ossei animali, dalla loro deposizione al ritrovamento e studio per identificare gli agenti che hanno alterato le superfici nel corso del tempo (tafonomia), è molto complessa. I siti a orso sono caratterizzati da una percentuale di orso delle caverne pari all'80-99 per cento del totale delle ossa scoperte. Il riconoscimento di questi siti si basa sulla presenza di particolari caratteri: abbondanza di resti, *charriage a sec* (tipiche abrasioni presenti sulle superfici delle ossa legate al calpestio degli stessi plantigradi), tracce di frequentazione riconducibili a specifici comportamenti (impronte, unghiate e lucidature sulle pareti), presenza di terra a orso, ricca di noduli di fosfato derivanti dalle deiezioni e dalla decomposizione della carcassa (pari a 10-17 chilogrammi di fosfati per individuo). Altri parametri legati alla presenza o assenza di elementi scheletrici sono l'indice di rappresentazione (il rapporto fra il totale degli elementi ossei recuperati nello scavo e il numero teorico di ossa che dovrebbero essere presenti nel campione se tutte le ossa si fossero conservate), l'indice di distruzione ossea e della proporzione dell'insieme delle ossa dell'asse centrale (cranio, costole, vertebre e bacino).

Nelle grotte-riparo, le ossa degli arti e le loro estremità sono fortemente rappresentate; in alcuni casi sono stati scoperti scheletri sub-interi, anche in connessione anatomica. Le cucce-riparo sono invece caratterizzate da una percentuale maggiore di distruzione e dispersione, dovuta al continuo calpestio, da una durata inferiore dell'occupazione e da insiemi di ossa spesso ricoperti da occupazioni successive. Queste differenze tra i due tipi di grotta possono essere correlate a differenti occupazioni: da parte di ma-

Marco Peresani è professore di culture del Paleolitico e di ecologia preistorica all'Università di Ferrara e all'Università di Verona, dove coordina progetti di ricerca sul popolamento umano della penisola italiana e delle Alpi nel Paleolitico. Gli interessi vertono su *Homo neanderthalensis*, sui primi *H. sapiens* e sulla colonizzazione della regione alpina.

Matteo Romandini è archeozoologo e archeologo specializzato, impegnato nello studio di archeofaune del Paleolitico medio e superiore. Attualmente svolge attività di ricerca come postdoc presso il Dipartimento di beni culturali dell'Università di Bologna nell'ambito di un progetto europeo (ERC - Consolidator Grant - 724046 – SUCCESS) coordinato dal professor Stefano Benazzi.

IN BREVE

Fin dal Paleolitico esseri umani e orsi hanno condiviso grotte in buona parte d'Europa, anche su Alpi e Appennini, come dimostrano le tante ossa di plantigradi scoperte in associazione a manufatti litici e interpretate sia come prova della caccia di questi carnivori sia come accumulo di ossa per morte naturale.

Alcuni ritrovamenti in particolare, tra cui quelli di due siti sulle Alpi, mostrano che decine di migliaia di anni fa l'uomo di Neanderthal predava sia l'orso delle caverne sia l'orso bruno.

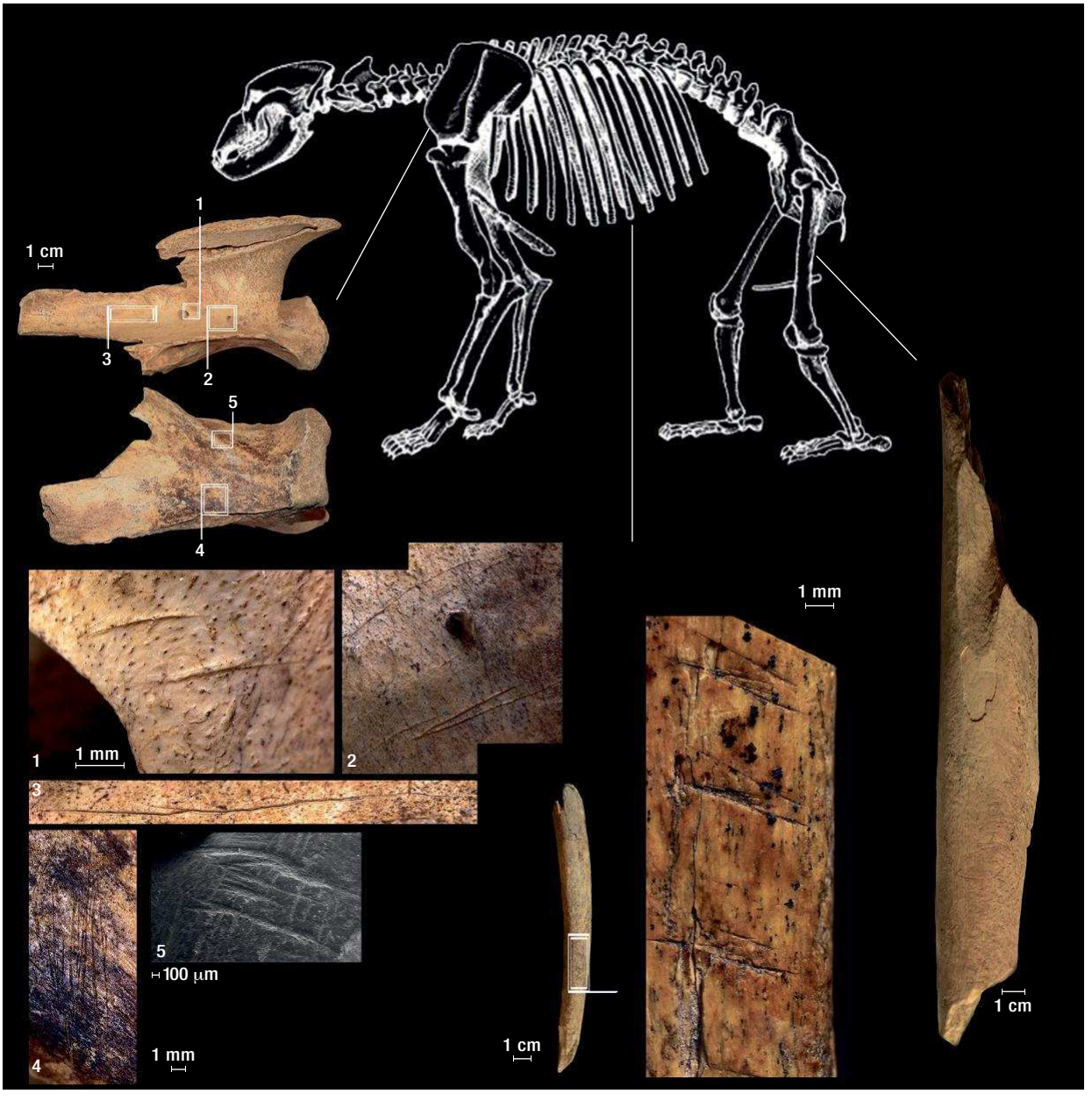
Questa interazione conflittuale si concluderà con l'estinzione di *Homo neanderthalensis*, avvenuta circa 40.000 anni fa.

Cortesia Mauro Cutrona su concessione del Comune di Clauzetto (*pagine precedenti*)

Quando le ossa parlano

Gli studi dei fossili di orso permettono di ricostruire le cause della morte e dello sfruttamento da parte dell'essere umano. Grazie alla microscopia ottica o a scansione è possibile analizzare le tracce lasciate dai differenti agenti che hanno modificato la superficie delle ossa (uomo, carnivori, meccanismi sedimentari e così via). Le modifiche prodotte dall'essere umano sono relative alla macellazione. Sono tagli effettuati con schegge di pietra e incavi prodotti da percussione in precise posizioni in seguito a scuoiamento, eviscerazione, disarticolazione e fratturazione per ricavare il midollo. Comuni sono anche le combustioni, che indicano la cottura tramite arrostimento. Una parte importante della ricerca è la sperimentazione su carcasse animali attuali, per riprodurre le azioni di macellazione, predazione e sbranamento e costruire una banca dati di tracce di confronto.

Qui sotto sono mostrati resti ossei di *U. spelaeus* e *U. arctos* provenienti da grotta del Rio Secco e grotta di Fumane con evidenti tracce di macellazione impresse sulle superfici durante le attività svolte dai Neanderthal. Nella parte superiore è mostrato il profilo di uno scheletro di orso con indicata la localizzazione dei resti presenti in figura. In basso a sinistra, la scapola di orso delle caverne rinvenuta a Rio Secco presentante tracce di scarnificazione (*1-5*) su entrambi i lati; dallo stesso sito, al centro, un frammento di costola con evidenti e ripetute strie dorsali legate probabilmente ad azione di spellamento e/o scarnificazione; a destra, un frammento diafisario di femore di orso bruno scoperto a Fumane con incavo d'impatto inferto per il recupero del midollo. Le foto sono state realizzate allo stereomicroscopio (*1-4*) e al microscopio elettronico a scansione (*5*).



Cortesia degli autori (*foto e illustrazioni in questa pagina*)

schi adulti, soliti svernare in solitario, e da femmine con o senza cuccioli. In alcuni casi eccezionali, come nei Colli Berici, si possono ancora trovare cucce, come nella grotta di Paina, o segni di unghiate sulle pareti, come quelle conservate nel Covolo fortificato di Trene, o addirittura tracce di impronte di più individui, come nel caso della famosa grotta Chauvet, in Francia.

Nel Paleolitico gli orsi delle caverne erano quindi una minaccia, ma anche una possibile risorsa. Animali dotati di una considerevole massa di carne, una grande pelliccia, denti e ossa da usare come strumenti dovevano certamente attirare i gruppi umani che vivevano in regioni ricche di grotte e ripari. Solo l'affinarsi delle tecniche di indagine microscopiche negli ultimi vent'anni (*si veda il box a p. 79*) ha permesso di dimostrare come tra questo grande onnivoro e i neanderthaliani vi sia stata un'interazione diretta, seppure estremamente rara.

Alcune scoperte della prima metà del XX secolo nelle Alpi svizzere avevano portato gli archeologi a sostenere l'idea che i Neanderthal cacciassero in modo intensivo l'orso delle caverne, provocando grandi accumuli di ossa, venerandone le vestigia e disponendone i crani su altari di pietra. Ricerche successive, tuttavia, hanno mostrato l'insostenibilità delle ipotesi di culto e di caccia all'orso in epoca paleolitica, e hanno aperto un dibattito sul possibile interesse nei confronti di questi animali da parte dei Neanderthal. Come dimostrato da dati tafonomici ed ecologici, il gran numero di resti è compatibile con il tasso di mortalità durante la fine dell'ibernazione; lo prova il fatto che la maggior parte delle ossa appartiene a individui deboli, come cuccioli e anziani. Così si è diffusa l'interpretazione che esseri umani e orsi abbiano frequentato gli stessi ripari in momenti diversi, ma senza alcun tipo di interazione diretta.

Indagini più recenti hanno però portato ad abbandonare i vecchi preconcetti e hanno permesso di leggere più chiaramente la storia. Gli orsi ebbero in realtà un ruolo importante nell'economia dei gruppi neanderthaliani, che ne cacciavano o ne sfruttavano le carcasse.

Nel Paleolitico gli orsi delle caverne erano una minaccia ma anche una risorsa per carne, pellicce e ossa da usare come strumenti

Prove di caccia

Due grotte nelle Alpi orientali italiane, la già citata grotta del Rio Secco e la grotta di Fumane, in provincia di Verona, insieme ad altre come Ciota Ciara nelle Alpi occidentali e la caverna delle Fate nell'Appennino ligure, alimentano il dibattito, attestando chiaramente che i Neanderthal abbattevano l'orso delle caverne ma anche l'orso bruno. Uno dei casi meglio documentati è quello di grotta del Rio Secco, un vasto riparo situato sull'altopiano di Pradis, nelle Prealpi carniche, un distretto poco noto all'archeologia preistorica, dove la documentazione archeologica sembra delineare un uso marginale delle zone di montagna. Al centro del riparo si apre un'ampia cavità che al momento della scoperta era quasi totalmente riempita da sedimenti e detriti. La sua rilevanza come potenziale insediamento paleolitico è emersa nell'estate 2002, quando un sondaggio e i successivi scavi archeologici, protrattisi fino al 2017 grazie ai finanziameni del Comune di Clauzetto e della Regione Friuli-Venezia Giulia, hanno evidenziato un insieme di strati con manufatti di selce scheggiata e resti ossei animali datati tra 48.000 e 41.000 anni fa.

I risultati fanno di questo sito uno degli ultimi abitati dall'uomo di Neanderthal nell'Italia nord-orientale. La forma della cavità, la perfetta conservazione della volta, la presenza di un riparo esterno aggiunto e l'ampiezza dello spazio utilizzabile indicano le zone dove i cacciatori neanderthaliani scheggiavano la selce e macellavano e cucinavano la carne di orso, oltre a trattarne la pelliccia.

Il secondo di questi due siti è la grotta di Fumane, riconosciuta come uno dei maggiori monumenti della preistoria noti in Europa. Le ricche testimonianze archeologiche conservate nei depositi di questa cavità, situata nel Parco naturale regionale della Lessinia, rappresentano una straordinaria documentazione del modo di vita dell'uomo di Neanderthal e dei primi uomini anatomicamente moderni. La sostituzione biologica e culturale tra *H. neanderthalensis* e *H. sapiens* è fedelmente registrata a Fumane in una sequenza stratigrafica che scandisce le loro frequentazioni tra 50.000 e 30.000 anni fa, conferendo al sito un valore assoluto per capire le dinamiche di uno dei principali cambiamenti biologici e culturali della storia recente dell'evoluzione umana.

Oggi le tecniche di scavo permettono di avere un dettaglio maggiore fin dai primi prelievi di resti e di reperti (rilievo, scansioni 3D, setacciatura dei materiali), che si traduce in un'accurata e minuziosa documentazione archeologica. Inoltre la presenza di archeozoologi specializzati in un cantiere archeologico è sempre più necessaria. Lo specialista dello studio di resti faunistici provenienti da depositi archeologici facilita la possibilità di evidenziare in corso d'opera situazioni ed elementi utili a indagare meglio il rapporto tra esseri umani e animali, e gli effetti che ne sono derivati.

Le informazioni ottenute dall'esame autoptico e da analisi specifiche forniscono dati qualitativi, statistiche e linee di tendenza mirate a chiarire l'apporto animale nelle varie fasi dell'attività umana e le sue variazioni nell'orizzonte geografico e temporale. L'archeozoologo fornisce dati sullo sfruttamento degli animali, contribuisce alla ricostruzione ambientale e climatica, permette di seguire l'evoluzione di determinate specie, soprattutto in relazione alla caccia e all'allevamento; fornisce informazioni sul sesso, sulla stagionalità e così via.

A grotta del Rio Secco l'orso delle caverne è più rappresentato rispetto all'orso bruno; le frequenze si invertono a grotta di Fumane, con elementi scheletrici del cranio, della coda dell'asse e degli arti della carcassa. Eccezionale è il numero di ossa con strie di macellazione (*cut-mark*). Le tracce si distribuiscono su falangi, femori, scapole, vertebre e costole, e sono la prova dell'asportazione della pelliccia, delle masse di carne, di cui non viene esclusa la cottura, e del midollo per mezzo della fratturazione intenzionale delle ossa. A Fumane i cut-mark presenti sui resti di alcuni orsi bruni, anche di giovane età, sono concentrati esclusivamente sugli elementi degli arti e sulle loro estremità, a sottolineare l'interesse verso la pelliccia. Schegge d'osso ricavate prevalentemente dalle costole, tra l'altro, erano usate come percussori per ritoccare gli strumenti litici. A caverna delle Fate, strie su un osso ioide potrebbero testimoniare l'estrazione della lingua.

Dopo i Neanderthal

Non è quindi difficile immaginare una o più possibilità e tecniche di caccia dei Neanderthal. La presenza di cuccioli a Rio Secco e a Fumane suggerisce che gli animali erano probabilmente abbattuti durante il letargo o alla fine. Tuttavia, per tentare di dare risposte più credibili riteniamo importante basarsi sugli studi degli etnografi, i quali hanno informazioni utili sulle ultime popolazioni di cacciatori delle terre settentrionali (Siberia, Alaska, Cana-

Abitante delle caverne. Realizzazione in pelo e sullo sfondo ricostruzione dello scheletro dell'orso delle caverne, estintosi circa 24.000 anni fa. I resti fossili sono venuti alla luce nelle cavità dell'altopiano di Pradis, in provincia di Pordenone, in Friuli-Venezia Giulia.

Cortesia Aurélié Léone/Museo della grotta di Pradis

da), dove era ancora presente un ambiente simile a quello europeo durante le ultime glaciazioni, tra 115.000 e 11.000 anni fa circa. Tra i cacciatori siberiani, la maggior parte delle tribù come Ghiliachi, Coriachi, Turchi dell'Altai mangiano la carne dell'orso; gli Uriankhai invece considerano il suo consumo un atto di cannibalismo, non facendo distinzione tra esseri umani e orsi. Da fonti letterarie sulla caccia all'orso dal XVII secolo a oggi risulta che la fine dell'inverno è il periodo più proficuo per la cattura. La strategia più funzionale adottata dai popoli cacciatori era sorprendere l'animale durante lo stato di ibernazione, perché altre modalità di azione potevano risultare troppo rischiose. A questo proposito ricordiamo il brutto incidente occorso 12.000 anni fa a un cacciatore *H. sapiens* del Paleolitico superiore, il quale, inoltratosi in una grotta (la Grotte du Bichon, sopra il Lago di Neuchâtel, in Svizzera), per stanare la preda, trovò la morte in seguito a uno scontro sfortunato.

Tra gli Ainu, distribuiti tra Giappone settentrionale, isole russe di Sachalin e Kurili, la caccia è praticata da almeno tre individui muniti di lance che svegliano l'animale, tirando anche braci nella tana, istigandolo a uscire e trafiggendolo. Scuoiamento e macellazione della preda avvengono all'ingresso della cavità, prelevando con attenzione la pelliccia per mantenerla in buone condizioni. Per i Neanderthal, quindi, l'importanza di questa prova zooarcheologica nelle grotte italiane è pienamente giustificata dalla sua rarità in Europa e al margine delle Alpi.

La nostra ricerca ha anche implicazioni sulle cause che hanno portato all'estinzione di questi grandi ursidi, avvenuta in un tempo in cui i Neanderthal erano scomparsi dall'Europa, quando il nostro continente era abitato dai cacciatori-raccoglitori *H. sapiens*. Precedenti indagini paleogenetiche hanno anche mostrato che un declino della popolazione di orsi delle caverne avvenne circa 50.000 anni fa. Tuttavia si ritiene che i principali indiziati siano il deterioramento climatico e, anche se in misura non ancora pienamente valutabile, la caccia da parte degli uomini del Paleolitico superiore, combinate alla dieta solo vegetariana degli orsi.

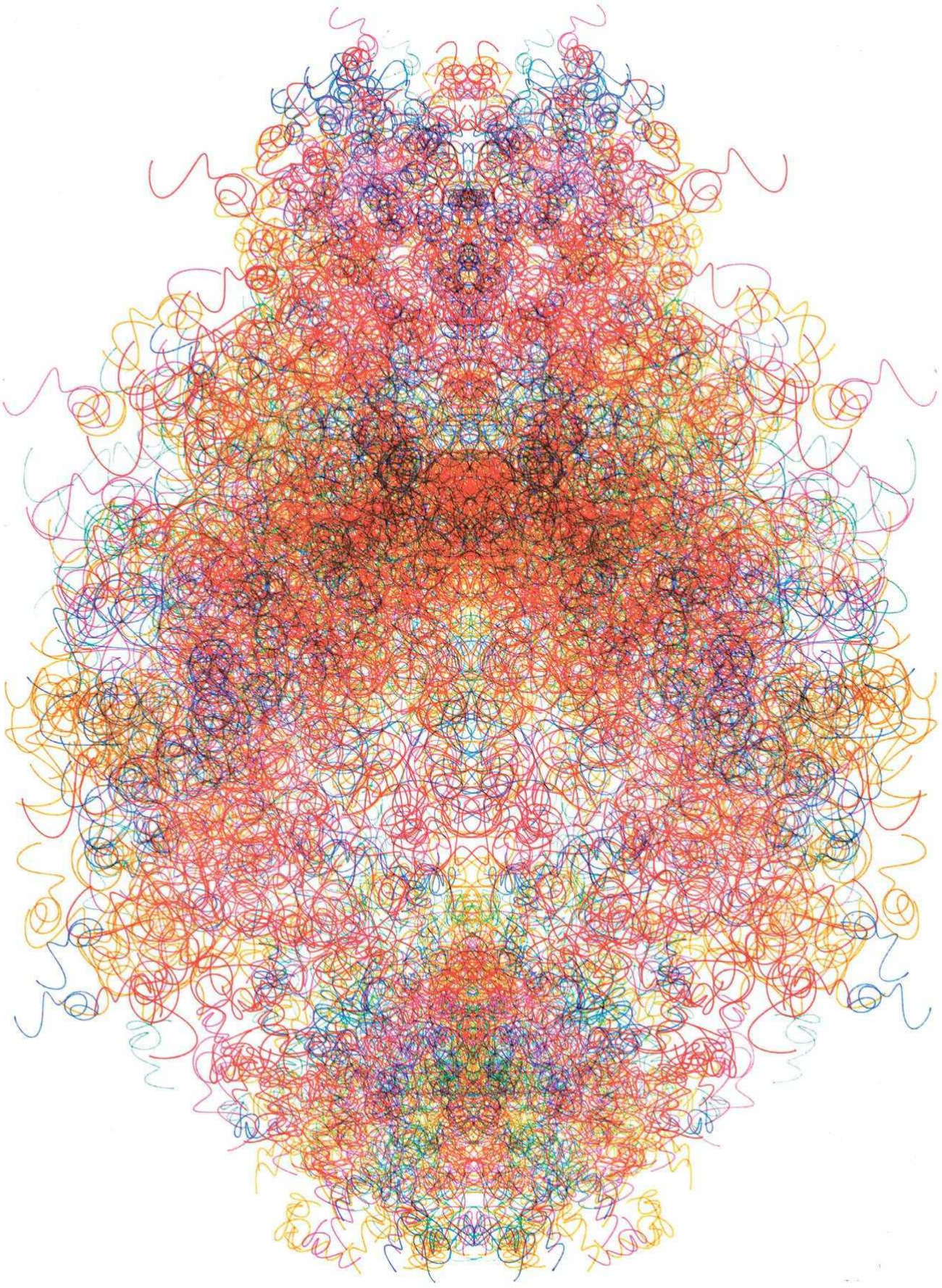
In diverse regioni d'Europa, gli orsi delle caverne erano scomparsi molto prima dell'inizio dell'ultimo massimo glaciale. Tuttavia alcune popolazioni sembrano essere sopravvissute fino a 24.000 anni fa. È il caso dimostrato appunto nelle grotte dei Colli Berici, i cui reperti suggeriscono l'estinzione dell'orso delle caverne dopo l'inizio delle ultime glaciazioni, circa 24.000 anni fa, e mostrano anche prove di caccia e di macellazione. I Neanderthal però era scomparsi già da un bel po' di tempo. ■

PER APPROFONDIRE

Bears and Humans, a Neanderthal Tale. Reconstructing Uncommon Behaviors from Zooarchaeological Evidence in Southern Europe. Romandini M., Peresani M. e altri, in «Journal of Archaeological Science», Vol. 90, pp. 71-91, febbraio 2018.

Come eravamo. Peresani M., il Mulino, Bologna, 2018.

The Cave Bear Story. Life and Death of a Vanished Animal. Kurtén B., Columbia University Press, New Jork, 1975.



Stephen Ornes è autore di un libro che sta per andare in stampa: *Math Art: Truth, Beauty and Equations* (Sterling Publishing, 2019). Ha scritto *Catalogare tutto l'universo* per «Le Scienze» di settembre 2015.

Arte fatta di numeri

Immagini e sculture ispirate ai principi della matematica rivelano la bellezza di questa disciplina

di Stephen Ornes

Macchina di Turing universale miniata di Manchester, #23 (1998)

Roman Verostko

Formatosi come artista negli anni quaranta, Verostko è diventato prete, ha lasciato il sacerdozio, si è sposato, si è messo a smontare computer e ha imparato a programmare in BASIC. È un pioniere dell'arte algoritmica, che genera nuove visioni con programmi di computer, e si serve di algoritmi per guidare la penna di un plotter. Ha creato quest'opera nel 1998 dopo aver letto della macchina di Turing universale (UTM) nel libro di Roger Penrose *La mente nuova dell'imperatore*, all'epoca uscito da qualche anno. La macchina prende il nome dal pioniere dell'elaborazione computazionale Alan Turing, e la sua versione universale è una macchina che può emulare le funzioni di ogni macchina di Turing specializzata, vale a dire che in teoria può calcolare tutto ciò che è calcolabile. In essa Verostko ha visto una sorta di testo fondativo del nostro tempo, una creazione che avrebbe cambiato per sempre la cultura. Nel corso dei suoi studi religiosi Verotsko si era appassionato ai manoscritti miniati medievali, con le loro elaborate illustrazioni in oro o argento, e ha deciso che la UTM è un'opera contemporanea che merita di essere illustrata allo stesso modo. Il «testo» dell'UTM (*sopra*) è in codice binario, la lingua dei computer: una lunga stringa di 0 e 1. Come illustrazioni che evocano il lavoro degli amanuensi medievali, Verostko ha realizzato figure astratte con un plotter (*a fronte*).

SPESSO GUARDIAMO alla matematica con distaccata reverenza. La disciplina è guidata da regole e principi stoici ed eterni. Non ci sarà mai un numero finito di numeri primi, per esempio, e le cifre di π andranno avanti per sempre.

Sotto le certezze, però, c'è un fascino sublime. Una dimostrazione o un'equazione può avere un effetto estetico elegante. I matematici che studiano la teoria dei gruppi, per esempio, analizzano le regole che governano rotazioni e riflessioni. Visivamente, queste trasformazioni possono apparire simmetrie di intensa bellezza, come le forme radiali dei fiocchi di neve.

Alcuni matematici e artisti vedono quella tra matematica e arte come una falsa dicotomia, e scelgono di non scegliere. Pongono domande nel linguaggio dei numeri o della teoria dei gruppi e trovano risposte in metallo, plastica e legno o sullo schermo di un computer. Tessono, disegnano, costruiscono. Molti di loro scambiano idee ogni anno alla conferenza internazionale Bridges su matematica e arte o si ritrovano all'incontro biennale «Gathering 4 Gardner», così chiamato in onore di Martin Gardner, che per molti anni ha tenuto una fortunata rubrica di giochi matematici su questa rivista. Oggi sembra esserci un interesse crescente per l'arte ispirata alla matematica, come mostra un aumento delle mostre e addirittura delle riviste accademiche sul tema. Le radici di questo interesse hanno avuto origine alla fine del XX secolo, ma gli artisti di oggi si rifanno a una più vasta gamma di muse matematiche e usano strumenti più moderni. Ecco alcuni dei loro lavori più notevoli.

Superficie di Seifert in anelli borromei (2008)

Bathsheba Grossman

Da oltre dieci anni Grossman, che vive vicino a Boston, negli Stati Uniti, usa stampanti tridimensionali per forgiare sculture matematiche in metallo; le piacciono le simmetrie, le cose impossibili e la divisione dello spazio. I tre anelli esterni dell'immagine qui sopra non si toccano fra loro, eppure sono interconnessi in modo indissolubile. Eliminandone uno, però, gli altri due diventano separabili. È un'antica forma chiamata anelli borromei, o di Borromeo, che può essere vista nel logo dell'Unione matematica internazionale.

Gli anelli sono membri della famiglia matematica delle curve chiuse nello spazio; ciascun membro è caratterizzato da tre curve chiuse non fisicamente collegate a due a due. Le loro interazioni sono di particolare interesse per i matematici che si occupano di teoria dei nodi. La superficie delimitata dagli anelli borromei è chiamata superficie di Seifert.

La scultura di Grossman è in parte teoria dei nodi, in parte un enigma. Per sottolineare la bizzarra curvatura della superficie, l'artista ha usato una trama perforata che gioca con la luce e attira l'attenzione sull'insolita topografia.

Buddhabrot (1993)

Melinda Green

Verso la fine del XX secolo un oggetto matematico chiamato insieme di Mandelbrot ha conquistato di slancio il mondo della matematica e quello dell'arte. Si trattava di un frattale che aveva preso il nome dal matematico franco-statunitense Benoit B. Mandelbrot, che era stato il primo a organizzare i frattali in un campo di studi degno di interesse. Il suo libro *The Fractal Geometry of Nature* (1982) è un classico.

L'insieme parte da un punto su di un piano complesso, rappresentato in un grafico bidimensionale, e quel punto è usato come valore iniziale per un'equazione particolare. Dopo aver effettuato il calcolo appropriato, si prende il nuovo risultato e si inserisce nella stessa equazione; poi si ripete l'operazione. Se i risultati non crescono troppo – di volta in volta salgono e scendono di poco – il punto iniziale fa parte dell'insieme.

I grafici di questo tipo di insiemi mostrano forme rivelatrici che si ripetono a qualunque distanza li si guardi, da vicino o da lontano. Fino agli anni novanta però l'insieme di Mandelbrot aveva un aspetto standard che lo faceva sembrare come un grande insetto, con tanti piccoli insetti attaccati intorno, con insetti più piccoli ancora sul loro contorno.

E a Green, programmatrice di computer, non piaceva. Quindi ha formulato un programma che mostra più in dettaglio come certi punti su spostano saltellando sul piano. L'immagine apparsa sullo schermo aveva qualcosa di inquietante. «Non so se mi sono data un vero e proprio pizzicotto», dice. L'immagine somigliava in modo convincente a un Buddha, e Green ha poi perfezionato il programma in modo da accentuarne i diversi colori. Molti matematici paragonano le astrazioni della matematica a un'esperienza spirituale, e il Buddhabrot di Green richiama esplicitamente questo legame.

Aurora Australis (2010)

Carlo H. Séquin

Nel mondo dell'arte ispirata alla matematica, Séquin, scienziato informatico dell'Università della California a Berkeley, è noto per aver realizzato centinaia di pezzi che danno corpo a stimolanti idee su superfici, torsioni e dimensioni. Ha prodotto un vero e proprio zoo di pezzi in legno, metallo e plastica.

Quest'opera, dice, gli è stata ispirata dallo spettacolo di luci che va in scena nei cieli dell'emisfero sud: l'Aurora australe. I nastri contorti della scultura evocano le capricciose strisce di luce. Nella scultura, il nastro cambia da piatto a curvo a piatto di nuovo e si collega a se stesso. Seguendone il percorso tortuoso con un dito, si passa per tutte le parti della scultura e ci si ritrova al punto di partenza senza mai staccare il dito. La superficie esterna è anche quella interna: si tratta di un nastro di Möbius, la più semplice superficie non orientabile nota, per la quale non è possibile usare concetti come «davanti» e «dietro», o «dentro» e «fuori».

Secondo Séquin, questi effetti visivi non sono solo attraenti, danno anche accesso a solide idee matematiche. «Per chi odiava la matematica, è un modo di cambiare punto di vista», dice. «Di vedere che non è solo roba da imparare a memoria: c'è ben altro».

Piano iperbolico/Pseudosfera (2005)

Daina Taimina

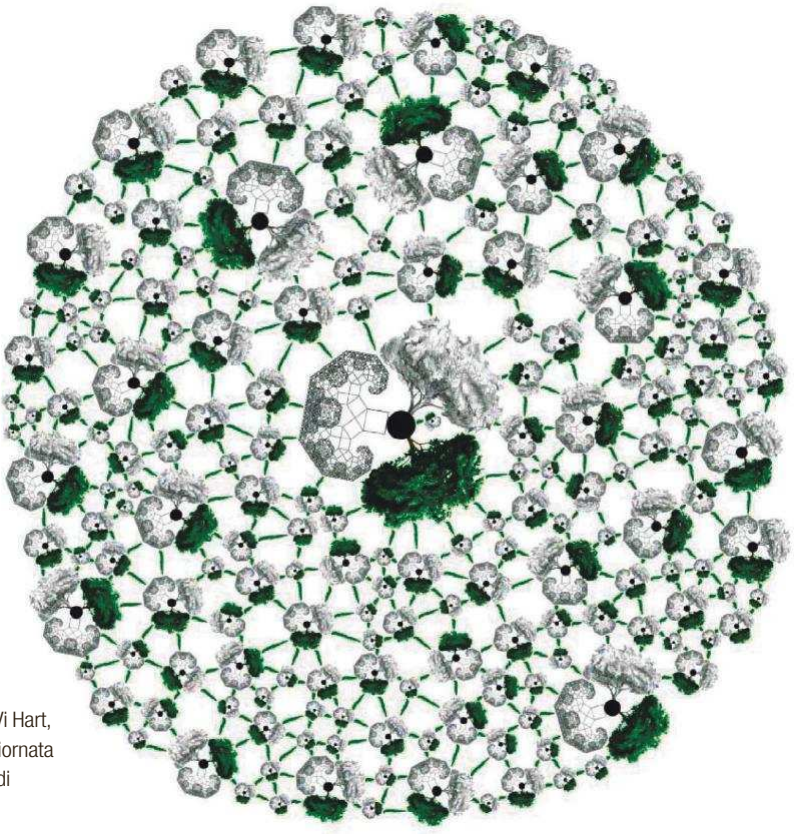
Le avventure di Taimina nell'artigianato non euclideo sono iniziate negli anni novanta, quando questa matematica oggi in pensione teneva un corso di geometria iperbolica, un tipo di geometria non euclidea, alla Cornell University. Nella geometria euclidea, data una retta e un punto fuori di essa, per quel punto passa una e una sola retta parallela alla retta data. Ma nelle geometrie non euclidee per il punto possono passare molte «linee rette» che non intersecano quella data. Questo avviene nel piano iperbolico, che ha curvatura negativa costante (la superficie di una sfera ha curvatura positiva costante; una superficie a curvatura negativa somiglia per esempio a quella di una sella). Una conseguenza è che la somma degli angoli interni dei triangoli in un piano iperbolico è minore di 180 gradi. Un po' come l'arricciata bizzarria curvilinea del bordo di una foglia di cavolo. Taimina desiderava realizzare modelli tattili che potessero dare agli studenti un senso tangibile di questo tipo di curvatura e ha pensato all'uncinetto, che praticava fin da bambina. Con ago e filo, realizza superficie iperboliche con il semplice espediente di aumentare il numero dei punti in modo esponenziale. Quella presentata in questa pagina ha la forma di una pseudosfera, che ha curvatura negativa in ogni punto.

Da allora Taimina ha realizzato decine di modelli in vari colori – il più grande pesa circa 7,7 chilogrammi – e può dire di aver inventato l'«uncinetto iperbolico». Il suo metodo per creare questi coloratissimi oggetti prevede un'unica operazione. «È semplicissimo», dice. «Tieni costante la curvatura».

In questa pagina: progetto, lavorazione all'uncinetto e fotografia di Daina Taimina; pagina a fronte (*in basso*): ispirato a una bozza di M. C. Escher

Albero atomico (2002)

John Sims



Sims, matematico-artista, abita a Saratosa, in Florida, e trae ispirazione da varie idee matematiche. L'immagine accanto raffigura alberi che crescono su un frattale, un ente geometrico auto-simile: è lo stesso a tutte le scale, piccole e grandi.
Questi andamenti si ritrovano in natura, dalla forma dei broccoli al profilo delle catene montuose, e gli scienziati li hanno usati per studiare una serie di fenomeni, dalle strutture cosmiche alle formazioni di volo degli uccelli.
La figura combina insieme l'immagine di un vero albero, un disegno di un albero e un frattale a forma di albero. E «parla dell'intersezione tra matematica, arte e natura», dice Sims. In *Albero atomico*, le tre forme unite fanno da elementi costitutivi, ripetuti in dimensioni grandi e piccole e connessi a formare un'unica grande rete.
Sims ha esibito quest'opera per la prima volta alla mostra *MathArt/ ArtMath*, tenuta nel 2002 al Ringling College of Art and Design di Saratosa, di cui è stato fra i curatori. Ha inoltre prodotto numerosi lavori ispirati alla sequenza delle cifre di π, fra cui abiti e trapunte. Insieme a Vi Hart, anche lei matematica e artista, ha realizzato nel 2015 un «Inno per la giornata del Pi greco» in cui i due recitano le cifre di π su un coinvolgente ritmo di basso e batteria.

Scarabei (2018)

Bjarne Jespersen

Jespersen dice di essere un mago che intaglia il legno. È un artista danese, e aspira all'incredulità: vuole che le persone vedano, tengano in mano e facciano muovere le sue creazioni in legno, e però continuino a trovarle incredibili. «Sono più un mago che un matematico o un artista», dice.
Tenendo in mano questa sua palla, ci si rende subito conto che ogni insetto oscilla indipendentemente dal resto ma tutti si tengono fra loro ed è impossibile rimuoverne uno senza rompere nulla. E l'oggetto è intagliato in un unico blocco di faggio.
Tra le fonti di Jespersen c'è l'artista olandese Maurits Cornelis Escher, la cui opera si è spesso ispirata alla matematica e ha diffuso l'interesse per le tassellature, forme geometriche che si possono incastrare in disegni ripetitivi, come una serie di piastrelle, a coprire un piano senza lasciare spazi vuoti. Da tempo i matematici studiano le proprietà delle tassellature, non solo per le superfici piatte ma anche in dimensioni superiori. (A sua volta Escher si è ispirato all'uso delle tassellature nell'arte islamica, in particolare nelle decorazioni usate per le pareti dell'Alhambra, in Spagna.) In *Scarabei* Jespersen ha usato la forma di questi insetti come base della tassellatura.

PER APPROFONDIRE

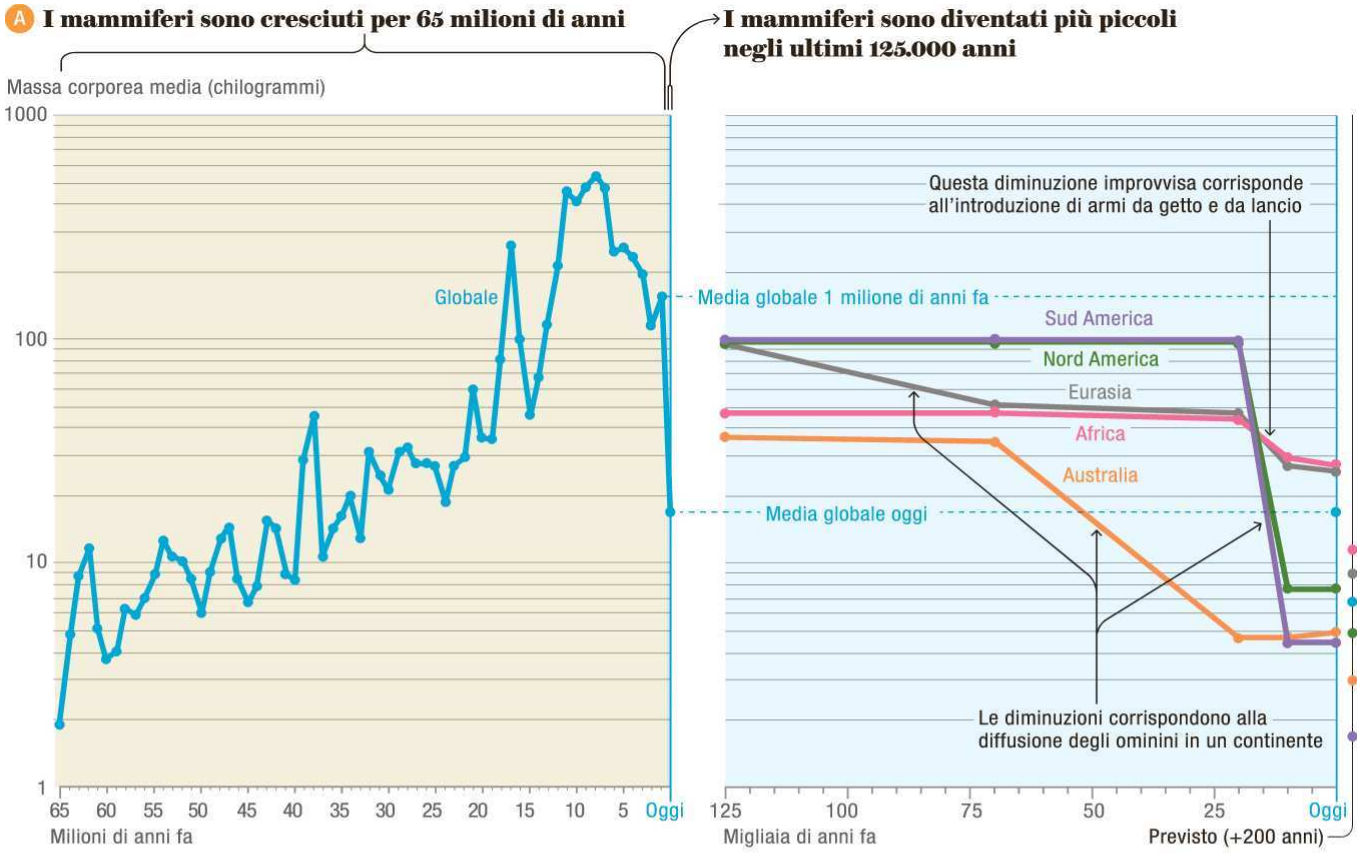
Mathematics and Art: A Cultural History. Gamwell L., Princeton University Press, 2015.

L'eterno fascino dei giochi matematici. Gardner M., in «Le Scienze» n. 362, ottobre 1998.

DIY Fractals: Exploring the Mandelbrot Set on a Personal Computer. Dewdney A.K., ScientificAmerican.com, pubblicato on line il 18 ottobre 2010.

Tesoro, si sono ristretti i mammiferi

Dove arrivano gli esseri umani, i mammiferi diventano più piccoli



Per milioni di anni i tassi di estinzione dei mammiferi terrestri di piccole, medie e grandi dimensioni sono stati simili. Eppure, circa 100.000 anni fa in Eurasia, 50.000 anni fa in Australia e 15.000 anni fa in Nord e Sud America, le specie di grande taglia hanno cominciato a scomparire molto più velocemente A.

A quanto pare questi cambiamenti sono avvenuti in corrispondenza con la diffusione in un continente di specie di ominini – *Homo erectus*, *Homo neanderthalensis* e soprattutto *Homo sapiens*.

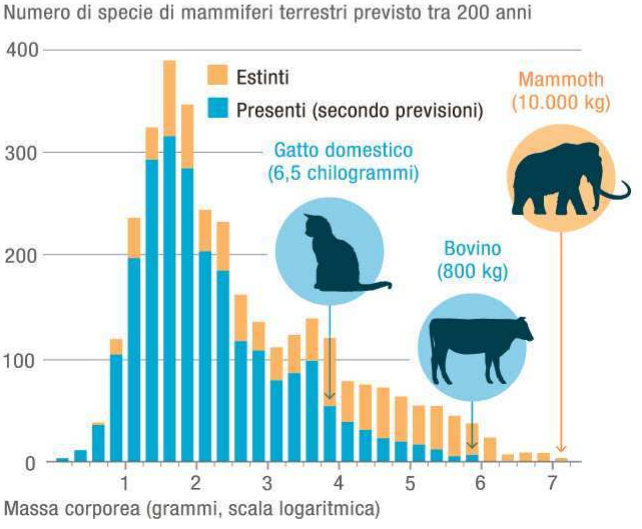
«C'è un accordo sorprendentemente stretto» tra gli insiemi di dati, dice Felisa A. Smith, paleoecologa all'Università del New Mexico, che ha diretto una ricerca su questo fenomeno. I grandi animali hanno sofferto la caccia, come anche il cambiamento di habitat e gli incendi causati dalle attività umane.

Lo squilibrio continua ancora oggi, lasciando in vita sempre meno animali massicci, sebbene si estinguano anche quelli piccoli. Tra due secoli i bovini potrebbero essere in cima alla classifica delle dimensioni B. «Abbiamo modificato l'intero pianeta», dice Smith. «Ora dobbiamo essere gli amministratori della natura».

Mark Fischetti

B Il regno futuro dei bovini

Tra 200 anni gli elefanti potrebbero essere scomparsi, e i bovini potrebbero essere le beste più grandi sulla terraferma – se gli esseri umani continueranno con una caccia aggressiva e la distruzione degli habitat.



Fonte: Body Size Downgrading of Mammals over the Late Quaternary, di Felisa A. Smith e altri, in «Science», Vol. 360, 20 aprile 2018

di Paolo Attivissimo
Giornalista informatico e studioso della disinformazione nei media

Il vulcano Krakatoa e i big data

Gli effetti della sua devastante eruzione del 1883 furono registrati in tutto il mondo

La vicenda del Krakatoa, il vulcano indonesiano che esplose il 27 agosto 1883 causando enorme devastazione e decine di migliaia di morti, è piuttosto nota e immortalata anche in un celebre film del 1969 intitolato *Krakatoa, est di Giava* (anche se il vulcano sorgeva a ovest di Giava: Hollywood e i fatti scientifici proprio non vanno d'accordo). Il boato che accompagnò la distruzione pressoché totale dell'isola sulla quale sorgeva il vulcano rimane tuttora il suono più lontano mai udito: i testimoni dell'epoca raccontano del «ruggito lontano di grandi cannoni» captato alcune ore dopo sull'isola di Rodrigues, vicino alle Mauritius, a quasi 5000 chilometri di distanza nell'Oceano Indiano. Immaginate un'esplosione che avviene a Reykjavik e si sente fino a Roma: questo fu l'evento di Krakatoa.

Meno nota, invece, è un'altra parte di questa vicenda drammatica: l'esplosione scagliò verso il cielo detriti a circa due volte la velocità del suono. Le polveri finissime rimasero sospese a oltre 30 chilometri di quota, creando tramonti e albe spettacolari in tutto il mondo e soprattutto rivelando per la prima volta lo schema delle correnti dell'alta atmosfera, a quell'epoca irraggiungibile.

L'idea che un vulcano remotissimo potesse produrre effetti globali fu accolta con un certo scetticismo: il «Times» dell'8 dicembre 1883, parlando delle recenti albe e tramonti nel Regno Unito, la presentò come «così al di fuori dei concetti ordinari che molti la respingeranno come al di là persino della legittima immaginazione».

L'autorevolissima Royal Society londinese istituì un'apposita commissione d'indagine scientifica, che pubblicò un rapporto dettagliato cinque anni più tardi. Da questi lavori emerse un altro fenomeno ancora più straordinario: il confronto dei dati barometrici di varie località in tutto il mondo, da Sydney, in Australia, a Berlino, in Germania, a Toronto, in Canada, portò alla luce il fatto che l'esplosione aveva prodotto un'onda di pressione che non solo ruppe i timpani ai marinai delle navi a decine di chilometri da Krakatoa ma fece il giro del pianeta più volte.

Sei ore e 47 minuti dopo l'esplosione ci fu un picco di pressione a Calcutta (oggi Kolkata), in India. Dodici ore dopo un analogo picco fu rilevato a San Pietroburgo. Diciotto ore dopo fu la volta dei barometri di New York. Per cinque giorni le stazioni meteorologiche in 50 città del mondo registrarono questo picco ogni 34 ore circa: il tempo che ci mette un suono a fare il giro del mondo. Il vulcano, insomma, fece rimbombare l'intera atmosfera terrestre.

Questo fenomeno, impercettibile ai nostri sensi, sarebbe rimasto nascosto se non ci fossero stati non solo strumenti di misura sparsi in tutto il mondo ma anche una rete di raccolta sistematica e standardizzata dei dati. Fu, in un certo senso, la prima scoperta scientifica fatta grazie all'analisi di quelli che oggi chiameremmo *big data*.

Ancora attivo. Krakatoa in eruzione nel 2011; il vulcano si trova nello stretto della Sonda, tratto di mare che separa le isole indonesiane di Giava e Sumatra.

Centotrentacinque anni dopo il disastro del Krakatoa, l'uso dei big data è ormai consolidato: sono però cambiate le modalità di raccolta dei dati. Al posto delle stazioni scientifiche ci siamo spesso noi, con i nostri miliardi di *smartphone* e altri dispositivi digitali personali irti di sensori. Un esempio: i braccialetti di *fitness* della Fitbit hanno raccolto 150 miliardi di ore di dati cardiaci, rivelando che in media la frequenza cardiaca a riposo delle donne è maggiore di quella degli uomini, che i benefici cardiaci dell'esercizio fisico non aumentano se si supera la mezz'ora giornaliera e che sette ore di sonno effettivo danno una frequenza cardiaca a riposo più bassa rispetto alle canoniche otto. E questo, nel bene e nel male, è solo l'inizio.

andersen_oystein/iStock

di Beatrice Mautino
Biotecnologa, giornalista e comunicatrice scientifica. Tra i suoi libri più recenti, *Contro natura*, con Dario Bressanini (Rizzoli, 2015) e *Il trucco c'è e si vede* (Chiarelettere, 2018)

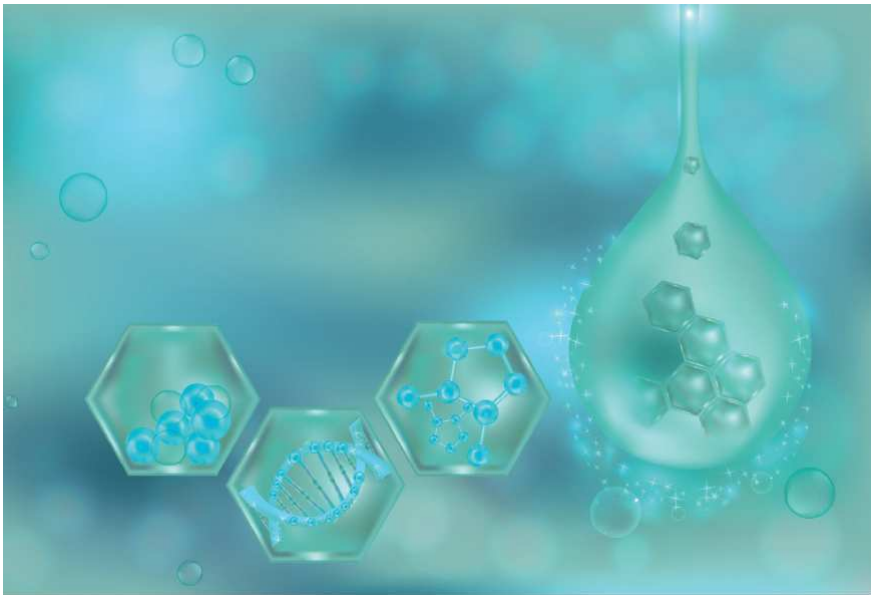
Do you speak scientifichese?

Il marketing dei cosmetici ricorre spesso a una terminologia che richiama la scienza

Tra fine agosto e i primi giorni di settembre ho chiesto ai miei contatti su Instagram e Facebook di mandarmi foto dei loro armadietti del bagno con l'obiettivo di scovare le frasi in «scientifichese» stampigliate sui cosmetici. Sono stata sommersa. Ho ricevuto circa 200 immagini di creme alle cellule meristematiche di gardenia o ai liposomi d'acqua, acque bioricche, saponi all'acido lattico biotecnologico, lifting epigenetici e booster di collagene. Tranquilli, se vi sembrano parole in libertà è perché lo sono davvero.

Fra le pagine di questa rivista e, più in generale nel linguaggio scientifico, l'acqua è acqua, H_20. Non troverete mai un termine al posto di un altro e se si deve semplificare lo si fa usando parole semplici e comprensibili, ma senza scadere nella banalizzazione o cedere alla tentazione di mettere da parte il rigore. Lo scientifichese, invece, è una lingua inventata e sfruttata dal marketing, che richiama la scienza, ma che, molto spesso, di scientifico non ha proprio niente.

Per esempio, se un ingrediente a una determinata concentrazione ha dimostrato di avere un determinato effetto in esperimenti controllati in laboratorio, allora siamo nel campo dello «scientifico». Se però, quell'ingrediente è stato aggiunto in concentrazioni che si aggirano attorno al «nientesimo» o, ancora meglio, è qualcosa che non ha nessun tipo di effetto dimostrato in laboratorio, ma suona tanto scientifico, siamo nel campo dello scientifichese. Pensate al DNA, la molecola alla base della vita, usata come ingrediente funzionale in shampoo «rivitalizzanti». Il DNA è una molecola grossa che se posta sulla pelle o sui capelli se ne sta lì, viene degradata e pian piano lavata via. Non è in grado di penetrare nelle cellule e modificarne il ciclo vitale. E meno male, altrimenti sarebbe un bel problema.



Il DNA contenuto in una crema o uno shampoo non può penetrare nelle cellule ma citarlo tra gli ingredienti dà una falsa impressione di scientificità.

Le cose si complicano ulteriormente quando compaiono termini più complessi o fumosi, come per esempio «l'attivatore di giovinezza» che necessitano di dettagliate descrizioni. Sempre in scientifichese, ovviamente. Scopriamo quindi che l'attivatore di giovinezza è un «concentrato con antiossidanti puri al 98 per cento rilasciato in un potente siero base». Chiaro, no? No, ma suona bene. L'importante è un'informazione che sembri aver senso e ci porti in un mondo fatto di capelli che si rivitalizzano, rughe che si ridensificano e cellulite che scompare. Magicamente.

Lo vedete quel 98 per cento? Il vero scientifichese si riconosce dai numeri. «L'80 per cento delle donne», «9 dentisti su 10», «un concentrato di 10 volte maggiore», «un rossetto con 24 ore di durata». Sono numeri che potremmo definire «decorativi». Servono a far passare il messaggio che una crema è molto popolare o che il rossetto dura a lungo, ma non sono da prendere alla lettera. O, meglio, al numero.

Scovare lo scientifichese nascosto fra le confezioni dei cosmetici può essere un esercizio divertente e, per certi versi, anche istruttivo, perché ci porta a vedere i prodotti che usiamo nel nostro quotidiano da un punto di vista differente e più critico, ma c'è qualcosa di più profondo che emerge dall'analisi di queste frasi. Il marketing, nell'usarle, fa sicuramente leva sulle aspettative che abbiamo nei confronti dei cosmetici, soprattutto di quelli che compriamo perché speriamo che risolvano alcuni nostri problemi, dalle rughe alla calvizie, così come fa leva sulle nostre paure. Ma sfrutta anche la nostra incapacità di maneggiare numeri, concentrazioni e, in maniera più ampia, la componente microscopica del mondo che ci circonda.

Quindi, se capire la differenza fra «scientifico» e «scientifichese» è una delle grandi sfide per il consumatore moderno, fornire ai consumatori gli strumenti per riuscirci è la grande sfida per chi si occupa di fare informazione su questi temi.

Bravekanyawe/iStock

di Dario Bressanini
chimico, divulgatore interessato all'esplorazione scientifica del cibo.
Autore di *Pane e Bugie, OGM tra leggende e realtà* e *Le bugie nel carrello*

Come ti spezzo lo spaghetto

Un piccolo trucco scientifico per rompere in due questo tipo di pasta

Alle olimpiadi di Londra del 2012 l'atleta cubano Lazaro Borges è stato particolarmente sfortunato: durante le qualificazioni per la sua specialità – il salto con l'asta – mentre volava verso l'alto la sua asta si è spezzata. Per fortuna non si è ferito ma per lo spavento ha perso la concentrazione e non è più riuscito a saltare ai suoi soliti livelli venendo quindi eliminato.

Vedendo il filmato al rallentatore, gli spettatori si saranno forse stupiti del fatto che l'asta si fosse rotta addirittura in quattro pezzi. Un sabotaggio? Una caso più unico che raro? In realtà no, è perfettamente normale che un'asta elastica flessa oltre il punto di rottura si rompa in tre o più parti. È anzi molto raro che si rompa in due pezzi soli, un fenomeno che aveva già incuriosito e intrigato il famoso fisico e premio Nobel Richard Feynman, che raccontò di aver passato molte ore nella sua cucina flettendo spaghetti crudi, tenendoli per le estremità e avvicinandole fino a spezzarli, per capire come mai si rompessero quasi sempre in tre o più parti e solo raramente in due.

Feynman cercò di abbozzare una teoria matematica che spiegasse il fenomeno ma non riuscì mai a dare una spiegazione soddisfacente del mistero, che rimase insoluto fino al 2005 quando due fisici francesi hanno costruito una teoria matematica che lo spiegava. Flettendo un'asta elastica oltre il punto di rottura, questa inizialmente si spezza in due parti. La rottura però scatena un effetto a cascata che porta le due metà a flettersi ulteriormente rompendosi ancora per dissipare l'energia accumulata.

La loro teoria è stata confermata da ulteriori centinaia di spaghetti rotti ma questa volta filmati da una fotocamera ad alta velocità: lo spaghetto si rompe prima in due e solo successivamente le due metà si frammentano ulteriormente. Quello studio ha vinto addirittura il premio Ig Nobel del 2006: un premio scherzoso che ogni anno alla Harvard University premia ricerche apparentemente inutili ma che, come dice il motto del premio, «prima fanno ridere e poi fanno pensare». Il chiarimento dei meccanismi di rottura di un'asta, infatti, se non sono granché utili applicati agli spaghetti, possono trovare applicazioni considerando i pilastri di un ponte, le ossa di una gamba o persino gli alberi sottoposti a forti raffiche di vento.

Rimaneva però aperta la sfida: è possibile rompere uno spaghetto in soli due frammenti flettendolo dalle estremità?

Nel 2015 due studenti del Massachusetts Institute of Technology (MIT) hanno ripreso la sfida di Feynman e hanno avuto l'idea di torcere longitudinalmente lo spaghetto durante la flessione. Alcuni esperimenti preliminari mostravano che l'accorgimento sembrava funzionare a volte: lo spaghetto si spezzava in due parti molto più frequentemente di quanto facesse se non era ritorto. Insieme a professori del MIT, i due hanno costruito un macchinario per torcere e contemporaneamente flettere gli spaghetti per poterli fotografare e osservarne il comportamento usando una fotocamera che registra fino a un milione di fotogrammi al secondo. I ricercatori hanno scoperto che se si torce uno spaghetto longitudinalmente, arrivati a circa 360° si rompe. Se invece si torce di almeno 250° mentre si flette, lo spaghetto si romperà preferibilmente in sole due parti. Gli scienziati hanno poi costruito una teoria matematica della rottura che combacia perfettamente con gli esperimenti. Al momento della rottura nei due frammenti si genera un'onda di torsione che dissipa efficacemente l'energia accumulata evitando così la fratturazione successiva.

Torsione e flessione. Per rompere gli spaghetti in sole due parti il segreto è torcerli e contemporaneamente fletterli, evitando così una fratturazione successiva.

Se in dispensa avete un pacco di spaghetti, come probabilmente ogni italiano, potete cimentarvi nel tentativo di spezzarli in due, ma anche sperimentare con le linguine o altri formati di pasta su cui nessuno per ora ha fatto esperimenti. E ovviamente i frammenti li potete usare per una zuppa di spaghetti spezzati.

CasarsaGuru/iStock

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

Spacciatori di formule

Azzurrissima, quasi blu, con venature ribelli di schiuma bianca, l'acqua del mare scivola via veloce sulla destra. A sinistra la costa saltella e cambia colore: rocce e poi spiagge, bagnanti, ombrelloni, in un susseguirsi rapidissimo. Sembra un film ripreso da un aereo che vola a bassissima quota seguendo le volute frattali della battigia; o forse da un drone che di tanto in tanto scende a sfiorare acqua e sabbia. Infine la costa si urbanizza, la scena rallenta, si arricchisce di artefatti rumori: colori e voci salgono verso il cielo quando un policromo mercato sul lungomare rivela bancarelle, acquirenti, venditori, merci e contrattazioni. La scena rallenta, il drone (o qualsiasi altra cosa esso sia) sale, sfiora lo stallo, ridiscende piano, si infila tra banchi e gambe, come fosse un regista invisibile (e forse lo è) e si posa infine, quasi ipnotizzato dalla magia ancestrale del baratto, inquadrando un affollato atomo di quel mercato cangiante.

«*Venghino, siore e siori, venghino*! Venghino che abbiamo le magliette matematiche! Scegliete la vostra formula preferita, o quella che vi ha dato i maggiori turbamenti nei giorni di scuola, e in men che non si dica la sbattiamo su una maglietta di purissimo poliestere! Successo garantito con gli amici e con i parenti, che vi guarderanno con tanto d'occhi per la vostra cultura! Successo garantito anche se la vorrete solo per vendicarvi delle sofferenze liceali condannandola all'annegamento nella candeggina! *Venghino, venghino*!»

La voce, palesemente femminile, usciva dalla bocca di un megafono che ondeggiava sopra una maglietta bianca decorata dallo sviluppo in frazione continua della sezione aurea. Solo a tratti si scorgeva il volto della proprietaria del megafono, tuttavia anche la mamma avrebbe fatto fatica a riconoscervi Alice che, forse forte del fatto che l'espressione era infinita, non smetteva un attimo di parlare. Poco dietro – seduto vicino a un banchetto da picnic che faticosamente sorreggeva un computer e una stampante, infilato dentro una maglietta su cui campeggiava una versione particolarmente ostica dell'equazione di Navier-Stokes – Rudy ascoltava con pazienza le richieste degli avventori. Una volta compresa la richiesta, scriveva velocemente la formula e la metteva in stampa; quindi prelevava il foglio trasparente e armeggiava con la stiratrice fino al trasferimento dei simboli sulla *t-shirt*. Nel breve tempo di raffreddamento si celebrava la transazione di 15 euro e lo scambio si concludeva con indubbia soddisfazione delle parti.

Sopra una pila di magliette preconfezionate, Gaetanagnesi supervisionava, fiera della sua piccola maglietta su cui brillava la scritta «1 + 1 = 10». Gli avventori più smaliziati sorridevano interpretando la formula come l'addizione fondamentale della notazione binaria, ma chi conosceva meglio la micia sosteneva che esprimesse il basilare concetto felino «se 1 umano incontra 1 gatto deve sborsare 10 croccantini».

Quasi nascosto dalla pila di t-shirt, Doc stava completando l'infradiciamento di sudore della sua maglietta che ricordava il teorema di Pitagora. Pedalava su una *cyclette* collegata a una dinamo e

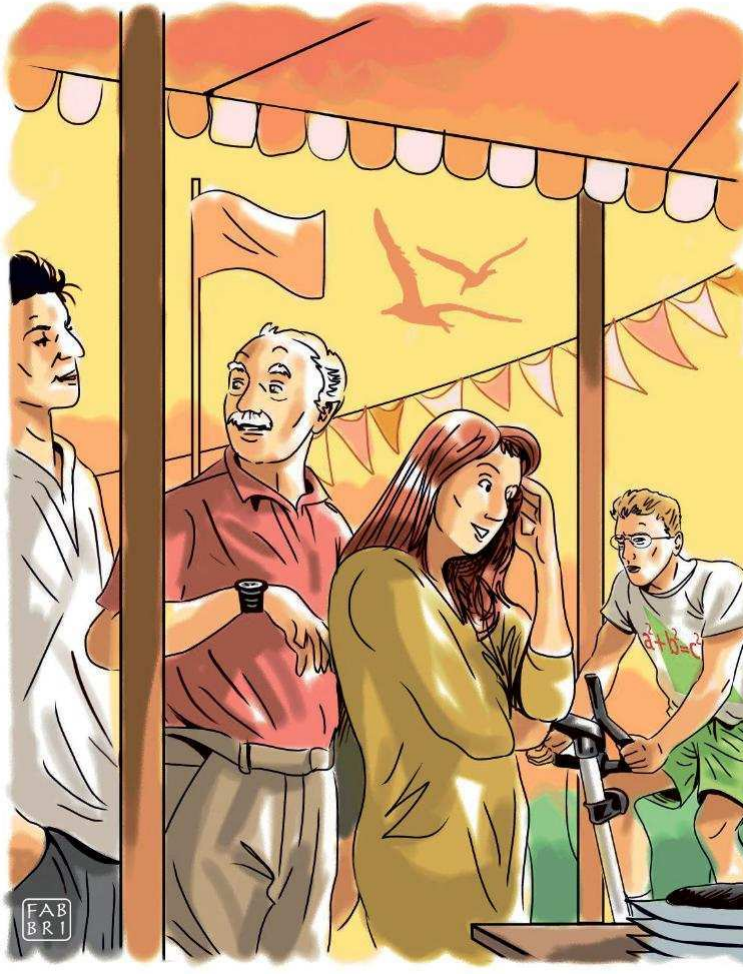


Illustrazione di Stefano Fabbri

a qualche altra cianfrusaglia elettrica che garantivano l'alimentazione a PC, stampante, megafono e registratore di cassa.

«Capo (puff)... quando hai detto che (puff puff)... ci diamo il cambio?»

«Mai detto niente del genere, Doc. Le tue conoscenze di ciclismo sono ben maggiori di quelle matematiche. Continua a pedalare, che abbiamo una coda notevole. Oh, Treccia, direi che puoi smettere per un po' di imbonire la folla, così magari riusciamo a smaltire la fila...»

«Peccato, mi stavo divertendo. Doc, non dare retta a questo negriero; gli accumulatori sono carichi, avremo un paio d'ore abbondanti di autonomia.»

«Puff! Ma non potevamo chiedere un allacciamento alla rete elettrica come tutti?»

«Da ognuno secondo le proprie capacità, a ognuno secondo i propri bisogni, Doc», cita Rudy: «Treccia è bravissima ad attirare i clienti, io scrivo formule e dimostrazioni velocemente, la gatta terrorizza ladruncoli e topi, e tu da giovane eri una promessa del

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve a novembre e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

Rudy avrebbe trovato la soluzione a un vecchio problema di teoria dei numeri ancora irrisolto, peccato però che...

IL PROBLEMA DI SETTEMBRE

Il mese scorso si parlava di orologi digitali che segnano solo ora e minuti: per risolvere il quesito, si ordinino gli orologi in base all'ora che segnano; sia t_j il tempo per cui l'orologio j–esimo differisce dal primo orologio. Il nostro ordinamento e il fatto che ogni coppia di orologi segna la stessa ora per una qualche parte di ogni minuto implica che ogni tempo, da t_1 a t_n, sia maggiore o uguale al precedente nell'ordinamento, con $t_1 = 0$ e $t_n < 1$. Ma dovendo essere la somma tra tutte le differenze tra un orologio e il successivo nel nostro ordinamento strettamente minore di uno, si ha che la differenza tra gli orologi j+1–esimo e il j–esimo deve essere maggiore o uguale a zero, ma minore di $1/(n-1)$, almeno per qualche j; quindi questi due orologi indicano la stessa ora per almeno un tempo pari a $1-(1/(n-1)) = (n-2)/(n-1)$.

Di converso, se $tj = ((j-1)/(n-1))t_n$, allora nessuna coppia di orologi andrà d'accordo per più di $((n-2)/(n-1))t_n$. Ma siccome t_n può essere arbitrariamente vicino a 1, $(n-2)/(n-1)$ rappresenta il miglior risultato possibile. Per quanto riguarda il secondo problema, vi invitiamo ad andare a vedere la soluzione del primo problema pubblicata nel numero 484, quasi dieci anni fa: abbiamo anche noi i nostri anniversari.

ciclismo provinciale. Direi che la nostra *start-up* è organizzata alla perfezione.»

«Sì, a parte i consumi imprevisti: Doc consuma sei *brioche* e quattro magliette all'ora. E visto che parliamo di bilanci, ho sentito qualcuno lamentarsi per il prezzo delle magliette: non sarebbe il caso di abbassarlo un po'?»

«Vediamo: il guadagno lordo è di dieci euro a pezzo, e vendiamo 500 magliette al giorno; considerando il tempo per scriverle e stamparle, l'indubbio prestigio ed eleganza del capo di vestiario, il fatto che ci lavoriamo in tre...»

«Miao!»

«Scusa micia, hai ragione: in tre e mezzo. E mi riferisco solo ai costi che induci, non sentirti sminuita...»

«Sì, sì, d'accordo. Ma mentre imbonivo ci ho pensato un po', visto per usare un megafono basta la voce e non il cervello. Dai commenti raccolti da un solido campione di clientela, mi sento di affermare che per ogni 15 centesimi in meno del prezzo di vendita dovremmo riuscire a vendere circa 20 magliette in più.»

«Beh, se la tua ipotesi è corretta, non ci vorrà molto a calcolare il prezzo di vendita che massimizza i guadagni. È una cosuccia a cui potrebbe arrivare perfino Doc...»

«E come no! Tanto io sono qui a far niente, a parte produrre svariati litri di sudore! Che c'è, vi scandalizza il fatto che le mie meningi non abbiano una centrale elettrica da alimentare? Ma non vi vergognate un pochino?»

«Uhm, meglio non insistere, GC – commenta Alice – o rischiamo un *blackout* da permalosità. Il calcolo lo farò io, ma visto che parliamo di analisi statistiche, hai completato la tua? Qual è la formula più richiesta per le nostre magliette?»

«Ah, nessuna sorpresa, Treccia... dipenderà certo anche dal fatto che ne hanno parlato persino i notiziari generalisti, ma la formula risolutrice della congettura – pardon, del teorema – di Goldbach vende da sola più di tutte le altre messe insieme. Del resto, guardala! Non è un vero splendore? Così limpida, semplice, geniale e...»

«e....?»

«E mi sono svegliato, dannazione!». Rudy sbatte il pugno sul tavolo della cucina, vestito nel suo pigiama a righe, occhi disperati che saltano da quelli arrossati di Alice a quelli cisposi di Doc.

«Va bene, GC, è stato un sogno curioso e scenografico, ma ti pareva il caso di svegliarci alle sei del mattino per raccontarcelo?» sbadiglia Doc.

«Già. Non posso dire di non trovarmi d'accordo con Piotr, Rudy... potevi benissimo rallegrarci alle nove, durante la colazione, no?»

«Ma non capite? Davvero non capite? Io quella formula l'ho vista! Ed era giusta, chiara, evidente! Non poteva non essere giusta, tanto era lampante! Ma non me la ricordo! Dovete aiutarmi!»

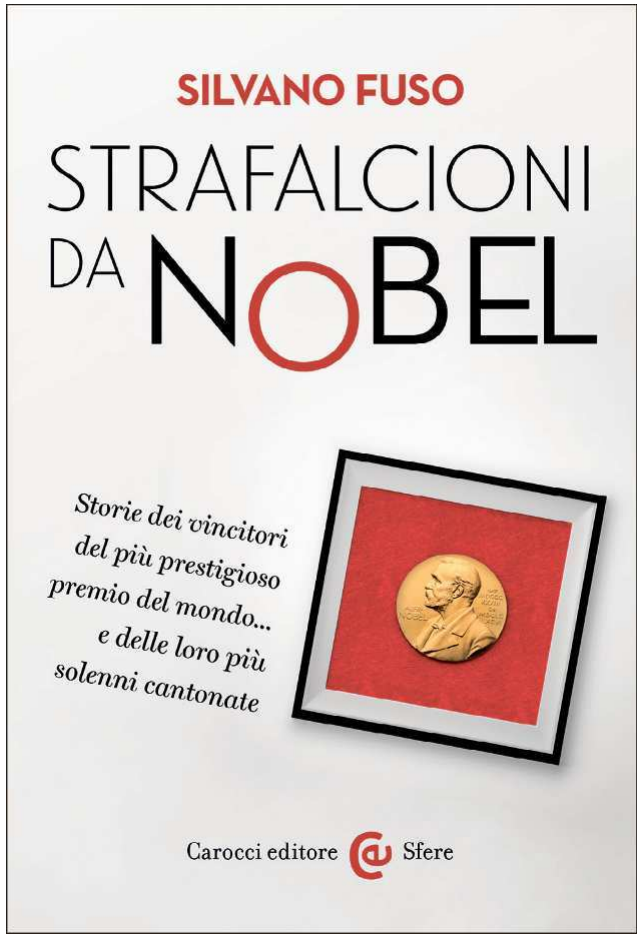
«Capo, torna in te... era evidente e chiara, ne sono certa. Ma era chiara ed evidente dentro il sogno, non nella realtà, no?»

«Come fai a dirlo? E poi era un sogno così vivido, così reale... anche più di quanto sia reale la realtà adesso. Non sono ancora sicuro che si trattasse davvero solo di un sogno...»

«Su, Capo, su... – mugugna Doc – che fosse un sogno, e decisamente poco realistico, è l'unica cosa sicura di questo mondo. Pensaci bene: gente che fa la coda per pagare delle formule matematiche da portarsi addosso... neanche il più coraggioso degli autori di fantascienza è mai arrivato a tanto.»

Anche i più bravi sbagliano

Strafalcioni da Nobel
di Silvano Fuso
Carocci Editore, Roma, 2018, pp. 238 (euro 19,00)



Il Nobel è forse l'unico premio così universalmente conosciuto da avere il potere di trasformare personalità note solo agli addetti ai lavori in superstar popolari anche presso il grande pubblico. Eppure, averlo nel proprio palmarès non garantisce di essere immuni da errori grossolani: lo dimostra il fatto che si parli proprio di *Nobel disease*, «sindrome del Nobel», a proposito della singolare tendenza, da parte di molti premiati, a lasciarsi sedurre da idee pseudoscientifiche, diventandone accesi promotori. Si tratta di un fenomeno che spesso ha conseguenze preoccupanti: l'associazione di un premio Nobel a una pratica pseudoscientifica può avere un effetto simile a quello di un testimonial pubblicitario, in questo caso ammantato di particolare autorevolezza. È, per esempio, quello che è accaduto a Luc Montagnier, per i suoi studi (del tutto infondati) sulla memoria dell'acqua, ancor oggi citati dai sostenitori dell'omeopatia come presunta base scientifica della disciplina.

In questo suo ultimo lavoro, il chimico e divulgatore scientifico Silvano Fuso raccoglie diversi casi di *Nobel disease*, che riguardano sia premiati per discipline scientifiche sia due casi di Nobel letterari che hanno deciso di prendere posizione nel campo della scienza, andando incontro a solenni cantonate. Come l'autore mette in rilievo nell'introduzione, è forse proprio questa la radice della sindrome del Nobel: il premio conferisce un'immediata popolarità a chi lo ottiene, che fa sì che il vincitore venga interpellato dai mezzi di comunicazione praticamente su tutto, anche in ambiti molto lontani dalle sue competenze. Le tante manifestazioni di apprezzamento ricevute, che fanno da volano all'autostima, e l'imbarazzo di dichiararsi incompetente in un ambito, possono indurre a rispondere anche su argomenti dei quali si sa poco. È il caso, per esempio, delle strampalate affermazioni di Kary Mullis (ideatore della reazione a catena della polimerasi o PCR, importante tecnica per amplificare tracce di DNA) sull'AIDS, gli alieni e l'astrologia.

Altri casi rivelano, invece, la vicinanza a ideologie nefande, che proietta sinistre ombre sul lavoro di scienziati anche molto famosi, come nel caso dei premi Nobel che hanno aderito al nazismo, mettendo la propria opera al servizio delle sue deliranti tesi. Ne fa parte, per esempio, Konrad Lorenz, considerato tra i fondatori della moderna scienza etologica, di cui sono note alcune raccapriccianti dichiarazioni con cui manifestava il proprio supporto al regime nazista e l'adesione alla sua ideologia razzista e antisemita.

Come sottolinea l'autore nelle conclusioni, la storia dei gravi errori dei premi Nobel punta il dito su un aspetto fondamentale della conoscenza scientifica: il fatto di essere un'opera corale, in cui il culto del singolo e il principio d'autorità non contano nulla. Sebbene il premio Nobel contribuisca a esaltare la persona, è il controllo della comunità scientifica che può smentirne o validarne il lavoro. Nella grande *querelle* che ha tenuto impegnati i mezzi di comunicazione qualche tempo fa sul fatto che la scienza possa o non possa definirsi democratica, la riflessione su questo aspetto offre un contributo significativo. E se è vero che un fatto scientifico non può essere deciso a maggioranza, le cantonate dei premi Nobel ci ricordano che per la scienza non conta chi stia facendo un'affermazione, ma quanto siano rigorosi il metodo adoperato e le prove che la supportano e se i dati che si offrono alla valutazione della comunità scientifica siano significativi. Non si tratta di una positivistica fiducia nel metodo della revisione tra pari che caratterizza la ricerca scientifica e che è sicuramente perfettibile, come insegna la storia delle frodi scientifiche; ma la focalizzazione sul fatto invece che sulla persona è un importante elemento della democraticità della scienza.

Interessante anche la riflessione che fa da chiusa al discorso: la storia della scienza, a differenza di quello che comunemente si crede, non è una sequela di successi, una marcia senza intoppi verso «le magnifiche sorti e progressive», ma è costellata di errori, che spesso hanno contribuito a chiarire quali strade fossero vicoli ciechi da abbandonare senza remore. E riflettere sugli errori di chi ci ha preceduti può aiutare a non ripeterli.

Anna Rita Longo

Un lungo viaggio nel passato remoto dei nostri geni

I miei primi 54000 anni
di Karin Bojs
UTET Libri, Torino, 2018,
pp. 438 (euro 25,00)

Che cosa succede quando una giornalista cerca di seguire i propri geni verso il passato remoto? Anzitutto, si sgretolano le certezze identitarie: siamo figli delle migrazioni che hanno popolato l'Europa prima di *Homo sapiens* cacciatori, poi di agricoltori, sostituendo – non certo pacificamente – i neanderthaliani che l'abitavano da molti millenni. E ripercorrendo a ritroso il cammino dei geni, grazie a tecnologie sempre più sofisticate, l'eredità biologica si intreccia con l'archeologia tradizionale: in alcuni casi offrendo risposte che i ritrovamenti sul campo – strumenti per la caccia, costruzioni, vasellame – non potevano dare, in altri casi offrendo ipotesi alternative.

L'autrice di questo libro, redattrice scientifica per «Dagens Nyheter», il principale quotidiano svedese, ha mescolato le due prospettive della genetica e dell'archeologia «sulla propria pelle». Un test genetico su di sé e alcuni parenti le ha permesso di seguire le tracce genetiche fino ai primi *H. sapiens* che arrivarono in Medio Oriente, appunto 54.000 anni fa: il racconto dei geni è tessuto con interviste ai principali ricercatori nell'ambito (incluso Svante Pääbo, il pioniere del DNA antico), senza nascondere le divisioni interne alla comunità scientifica (in alcuni casi dovute a considerazioni politiche). Inedito è il punto di vista svedese, che porta il lettore a esplorare luoghi raramente considerati alle nostre latitudini, ma soprattutto con un occhio diverso per gli elementi rilevanti: per esempio, l'enfasi sull'origine e la storia della birra sembrerebbe fuori luogo in una storia «mediterranea». E proprio per questo il libro ci ricorda che natura e cultura vanno tenute insieme per comprendere davvero chi siamo.

Mauro Capocci

Come abbiamo potuto conoscere il mondo guardando il cielo

Il cosmo della mente
di Edoardo Boncinelli, Antonio Ereditato
Il Saggiatore, Milano, 2018,
pp. 216 (euro 12,00)

Questa breve storia che cerca di abbracciare tutto quello che l'essere umano sa del mondo grazie alle scoperte scientifiche si apre con una celebre citazione dalla *Critica della Ragion Pratica* di Immanuel Kant: «Due cose m'impressionano soprattutto, il cielo stellato sopra di me e la legge morale dentro di me». Nel linguaggio del filosofo tedesco, il cielo stellato simboleggia la bellezza della natura e, allo stesso tempo, il suo mistero e la fatica che generazioni di filosofi della natura, prima, e scienziati, poi, hanno fatto per cercare di comprendere le leggi che governano i fenomeni. Peccato che nella brevità della citazione i due autori abbiano qui deciso di sacrificare un inciso che avrebbe reso ancora più chiaro l'intento del loro piccolo libro: «Due cose riempiono l'animo di ammirazione e venerazione sempre nuova e crescente, quanto più spesso e più a lungo la riflessione si occupa di esse: il cielo stellato sopra di me, e la legge morale dentro di me».

È in quel «quanto più spesso e più a lungo» che si concentra il percorso di fallimenti e successi di comprensione, che chiamiamo pensiero scientifico, che genera «ammirazione e venerazione sempre nuova e crescente». Perché, per parafrasare Socrate, altro filosofo, è stolto chi si convince che quel poco che sa sia sufficiente a comprendere il mondo. Mentre è proprio la consapevolezza delle limitazione a fungere sempre da grande motore per lo sviluppo della scienza. Come mostrano il genetista Edoardo Boncinelli e il fisico Antonio Ereditato nel raccontare non come sia fatto il mondo, ma come l'essere umano abbia potuto conoscere il mondo da quando ha alzato per la prima volta gli occhi al cielo e ha visto le stelle.

Marco Boscolo

Avanti Genova, torna il festival della scienza

Ferita nel profondo dal crollo del Viadotto Polcevera, conosciuto anche come «ponte Morandi», lo scorso 14 agosto, Genova non si arrende, e come già in passato ha fatto per eventi tragici da cui è stata colpita, si rimbocca le maniche e guarda avanti. In questa volontà di risollevarsi anche il Festival della scienza, intimamente legato alla città ligure, farà la sua parte. Appuntamento ormai storico per appassionati e addetti ai lavori, l'evento si terrà dal 25 ottobre al 4 novembre coinvolgendo tutta la città. La parola chiave di questa edizione del festival sarà «cambiamenti», e come di consueto, il tema sarà declinato in vari ambiti.

Vittorio Zunino Celotto/AGF (*Festival della scienza*)

Tra gli argomenti trattati ci saranno le nuove frontiere della medicina, i cambiamenti climatici e la sostenibilità globale. Un'attenzione particolare sarà data alla tecnologia, intesa come attore cruciale per il cambiamento e il miglioramento della qualità di vita delle persone con disabilità. Ci sarà spazio anche per una discussione su un'immensa ricchezza dell'Italia, il suo patrimonio di beni culturali, in occasione dell'Anno europeo del patrimonio culturale dichiarato dalla Commissione Europea. Per tutte le informazioni: http://www.festivalscienza.it/site/home.html. (*cb*)

La musica nascosta dell'universo
di Adalberto Giazzotto (a cura di Andrea Parlangeli)
Einaudi, Torino 2018,
pp. 118 (euro 15,00)

Il pioniere delle onde gravitazionali in Italia (e non solo)

«Ho combattuto contro il rumore per tutta la vita. Se devo dare un volto a Satana, è quello». Potrebbe sembrare la fissazione di un audiofilo incallito, invece è la frase che riassume il senso della battaglia lunga decenni ingaggiata dal «papà» di Virgo, l'interferometro italiano che insieme ai due colleghi statunitensi di LIGO ha cambiato per sempre il nostro modo di ascoltare quello che accade nell'universo. È un racconto scientifico appassionante e ricco di umanità quello di Adalberto Giazotto, scomparso nel novembre dello scorso anno, in questo libro curato dal giornalista Andrea Parlangeli. Un libro che rivela il pionieristico lavoro e la dedizione sfibrante che ha richiesto portare avanti l'idea, trovare il sostegno scientifico e finanziario, e affrontare le enormi sfide tecnologiche della costruzione, vicino a Pisa, di un gigantesco strumento come Virgo.
Oggi, a tre anni dalla prima storica rilevazione di un'onda gravitazionale, sembra tutto più facile. Ma negli anni ottanta, quando il giovane Giazotto, allora fisico al CERN di Ginevra, dopo una crisi personale dovuta a motivi di salute decide di cambiare campo di ricerca e buttarsi a capofitto nella caccia alle onde gravitazionali, quelli come lui nel mondo sono davvero pochi e l'idea stessa di costruire un apparato in grado di catturare le flebilissime increspature dello spazio-tempo previste da Einstein è considerata un'impresa ai limiti della fantascienza. Tanto più che Giazotto vuole puntare tutto sulle basse frequenze (per cercare di rilevare le onde gravitazionali prodotte da coppie di buchi neri o stelle di neutroni), una scommessa che in quegli anni anche gli statunitensi considerano fuori portata, anche se alla lunga Giazotto dimostrerà di aver visto giusto. Il libro racconta la meticolosa ed estenuante ricerca delle soluzioni tecnologiche per eliminare il rumore di fondo, soprattutto di origine sismica, attraverso la raffinata costruzione di superattenuatori (in grado di ridurre di miliardi di miliardi di volte il rumore), ma anche la battaglia per convincere i colleghi della bontà delle sue idee e ottenere i finanziamenti e costruire finalmente Virgo.
Ma emerge con chiarezza anche l'importanza che le relazioni umane e le collaborazioni internazionali hanno avuto nel modo di Giazotto di fare fisica di frontiera. E come la passione per la musica («il mistero della musica è, credo, lo stesso che ci permette di capire com'è fatto l'universo»), e quella per i cristalli («il marchio superiore dell'ordine che vince sul caos»), hanno accompagnato una vita dedicata a esaudire un sogno proibito della conoscenza.

Marco Motta

Le entità oscure
di Cristiano Galbiati
Feltrinelli, Milano, 2018,
pp. 192 (euro 16,00)

Una materia che continua a essere oscura

È una storia che comincia negli anni trenta del secolo scorso, quando un astronomo svizzero si accorge che nell'universo c'è qualcosa che non va. E non è un dettaglio: si tratta di milioni di galassie, ciascuna composta da migliaia di miliardi di stelle, che ruotano troppo velocemente. O meglio, molto più velocemente di quanto dovrebbero secondo i calcoli: è come se sentissero un'attrazione gravitazionale cinque volte maggiore di quella calcolata per la massa visibile. È così che si comincia a pensare all'esistenza di una materia invisibile, indifferente alla luce ma partecipe degli equilibri del cosmo. Una materia oscura, appunto, che oggi un manipolo di visionari di tutto il mondo si è messo a cercare con macchine sofisticate e sensibilissime. Tra questi c'è Cristian Galbiati: professore di fisica alla Princeton University e al Gran Sasso Science Institute de L'Aquila, è il coordinatore dell'esperimento DarkSide che si trova ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso. In *Le entità oscure – Viaggio ai limiti dell'Universo*, Galbiati racconta in maniera completa questa storia, dall'inizio di quell'astronomo svizzero, fino alla costruzione di DarkSide, la sua trappola per materia oscura a base di argon purissimo.
Galbiati descrive il problema scientifico: le caratteristiche che deve avere la materia oscura (interagire debolmente con la materia ordinaria, essere dotata di massa, essere lenta, non avere carica elettrica ed essere stabile nel tempo) pur senza essere composta di neutroni, protoni, elettroni. E il fatto, quasi sconvolgente, che la materia oscura deve essere cinque volte più abbondante della massa ordinaria, e che è proprio grazie a lei che sono potute nascere galassie e ammassi stellari.
L'autore però ammette anche che in questi ultimi decenni non si è costruito un quadro teorico unitario capace di spiegare tutto questo: ne sono nati centinaia (compresi quelli per cui è tutto un errore, e la materia oscura non esiste) ma nessuno è solido come il modello standard o la relatività generale. Quindi anche gli esperimenti come DarkSide e i suoi colleghi-rivali, sono basati su idee diverse, ed è probabile che la ricerca impegnerà gli scienziati ancora per molte decine di anni.
Ecco anche una ragione per cui scriverne e per cui coinvolgere giovani cervelli curiosi con una scrittura morbida e comprensibile. È anche per questo che, fatto bizzarro, nel libro non è citato nemmeno un nome di scienziato, nemmeno quello di Galileo Galilei: tutti sono raccontati solo attraverso il loro contributo alla soluzione del mistero più grande (e forse anche affascinante) dell'universo.

Silvia Bencivelli

Tutta la scienza di Bergamo

A BergamoScienza due settimane di incontri, dibattiti ed esperimenti da provare in prima persona, con ospiti provenienti dalla comunità scientifica e non solo

Sedici giornate anche per questa XVI edizione: si presenta così il consueto appuntamento di ottobre con la scienza nella Città dei Mille, così chiamata perché contribuì con ben 174 volontari alla spedizione di Giuseppe Garibaldi per unire l'Italia. In fatto di numeri, lo scorso anno BergamoScienza ha registrato oltre 153.000 presenze, sfiorando la media delle 10.000 giornaliere. Merito della qualità degli ospiti internazionali e italiani che l'associazione che organizza l'evento è sempre riuscita a garantire nelle varie edizioni. Quest'anno è lo statunitense Craig Cameron Mello, premiato nel 2006 per la scoperta – condivisa con Andrew Fire – del meccanismo dell'interferenza a RNA, a far salire a 24 il numero dei Nobel che hanno partecipato come ospiti.

Edizioni passate. Immagini di edizioni passate del festival scientifico che si tiene a Bergamo, ricco di ospiti italiani e internazionali, e di attività di laboratorio.

L'apertura quest'anno è affidata a una «strana coppia», almeno in apparenza: lo scrittore inglese Ian McEwan e il neuropsichiatra irlandese Ray Dolan, che studia i meccanismi di ricompensa e punizione e come questi influenzino le scelte che facciamo ogni giorno. Non deve in realtà stupire la presenza di McEwan, da sempre molto attento ai temi della scienza e ai meccanismi che governano la comunità scientifica. Come per esempio in *Solaris*, romanzo del 2010 che ha per protagonista un fisico che si occupa di energie rinnovabili che McEwan prende a tratti ferocemente in giro. C'è da chiedersi come uscirà Dolan dalla serata che lo aspetta...

Gli appassionati di *Jurassic Park* (1993) di Steven Spielberg possono incontrare il paleontologo Jack Horner, il primo a portare prove a sostegno della tesi per cui i dinosauri accudissero la prole: a lui è ispirato il personaggio di Alan Grant del film. Come lo scrittore Michael Crichton, autore del libro che ha ispirato Spielberg, anche Horner nel 2009 ha ipotizzato in un libro che i dinosauri si possano riportare in vita grazie alla manipolazione genetica.

Creatività e fantasia non mancheranno anche alle 64 scuole di Bergamo e provincia che quest'anno partecipano con ben 114 attività di laboratorio. Al termine di una valutazione da parte degli organizzatori, quattro di queste hanno già ricevuto un premio per originalità e ricchezza delle proposte. Sono tra i protagonisti di *Scuola in piazza*, l'appuntamento che prende possesso del centro della Città Bassa e permette di provare gli esperimenti in prima persona.

Marco Boscolo

Dove & quando:

BergamoScienza
dal 6 al 21 ottobre 2018
Sedi varie, Bergamo
www.bergamoscienza.it

Cortesia BergamoScienza (*tutte le foto, 2*)

Numero speciale

Una specie diversa da tutte le altre

Non siamo migliori. E nemmeno superiori. Ma non c'è dubbio che noi *Homo sapiens* siamo una specie diversa dalle altre. E benché questo non ci dia alcun diritto sul pianeta e i suoi altri abitanti, capire come siamo e soprattutto come lo siamo diventati è una delle sfide principali – e più affascinanti – della scienza. Questo numero speciale offre quindi una panoramica delle ricerche dedicate a questa sfida e di come gli scienziati stanno cercando di rispondere ai tanti interrogativi sull'unicità della specie umana: dalla ragione per cui siamo la sola sopravvissuta tra le molte specie di ominini che si sono avvicendate durante l'evoluzione alle peculiarità delle nostre capacità cognitive e del nostro grande cervello; dall'enigma della coscienza a quello del linguaggio; dal modo in cui abbiamo influito sull'evoluzione a quello in cui forse stiamo prefigurando il nostro futuro attraverso lo sviluppo di forme artificiali di intelligenza. Per concludere con l'interrogativo più grande di tutti: siamo unici anche nell'universo?

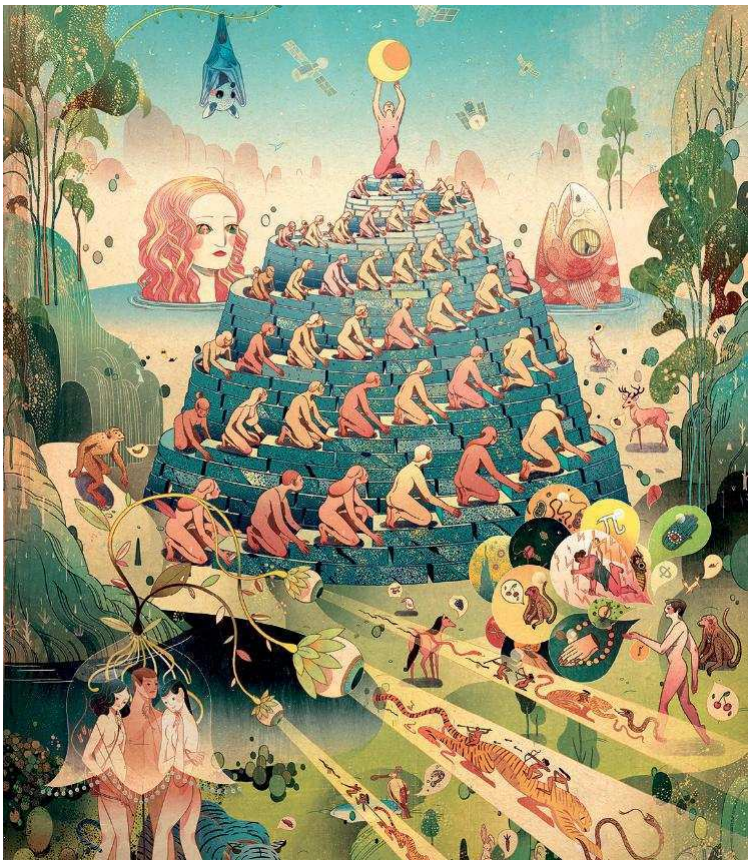


Illustrazione Victo Ngai

LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Cristoforo Colombo 90, 00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Andrea Mattone (*grafico*), Cinzia Sgheri, Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione: Andrea Lignani Marchesani
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Daria Orsi (tel. 02 57494475, 345 4415852)
e-mail dorsi@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Stampa
Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Gabriele Acquistapace, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.

Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - settembre 2018

Copyright © 2018 by Le Scienze S.p.A.
ISSN 2499-0590

Tutti i diritti sono riservati.
Nessuna parte della rivista può essere riprodotta, rielaborata o diffusa senza autorizzazione scritta dell'editore. Si collabora alla rivista solo su invito e non si accettano articoli non richiesti.

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief and Senior Vice President
Mariette DiChristina

President
Dean Sanderson

Executive Vice President
Michael Florek

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Francesca Bernardis: *Costruire una rete elettrica intelligente basata sul meteo;* Elisa Dalgo: *Gli orologi cellulari*; Silvio Ferraresi: *Il settimo senso;* Daniele Gewurz: *Attraversando il confine quantistico*; Lorenzo Lilli: *Onde mostruose;* Alfredo Tutino: *Il pensiero antiscientifico visto dalla scienza, Arte fatta di numeri.*

Notizie, manoscritti, fotografie, e altri materiali redazionali inviati spontaneamente al giornale non verranno restituiti.

In conformità alle disposizioni contenute nell'articolo 2 comma 2 del «Codice Deontologico relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica ai sensi dell'Allegato A del Codice in materia di protezione dei dati personali ex d.lgs. 30 giugno 2003 n.196», Le Scienze S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo, 90, 00147, Roma esistono banche dati di uso redazionale. Per completezza, si precisa che l'interessato, ai fini dell'esercizio dei diritti riconosciuti dall'articolo 7 e seguenti del d.lgs.196/03 - tra cui, a mero titolo esemplificativo, il diritto di ottenere la conferma dell'esistenza di dati, la indicazione delle modalità di trattamento, la rettifica o l'integrazione dei dati, la cancellazione ed il diritto di opporsi in tutto od in parte al relativo utilizzo - potrà accedere alle suddette banche dati rivolgendosi al Responsabile del trattamento dei dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la Redazione di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo, 90, 00147 Roma.

ABBONAMENTI E ARRETRATI
GEDI Distribuzione S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Abbonamenti: abbonamentiscienze@somedia.it
Arretrati e prodotti opzionali: lescienzevendite@somedia.it
Ufficio abbonamenti e Servizio Grandi clienti
Tel. 0864.256266
Fax 02 26681991

Italia	
abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 9,00
Estero	
abb. annuale Europa	€ 52,00
abb annuale Resto del Mondo	€ 79,00

Accertamento diffusione stampa certificato n. 8467 del 21/12/2017

OGNI MESE LE FRONTIERE DELLA SCIENZA A CASA TUA

ABBONATI A LE SCIENZE CON QUESTA IMPERDIBILE PROPOSTA SPECIALE

Più aumenta la durata, più aumentano i vantaggi

- **Risparmio esclusivo** con sconti fino al 44%
- **Consegna a domicilio** e non perdi neppure un numero
- **Archivio senza limiti** dal 1968 su www.lescienze.it

1 ANNO
€39,00
~~€58,80~~
SCONTO del 34%

2 ANNI
€75,00
~~€117,60~~
SCONTO del 36%

3 ANNI
€99,00
~~€176,80~~
SCONTO del 44%

Collegati al sito www.ilmioabbonamento.it
o telefona al numero 0864.25.62.66

Le Scienze

ilSaggiatore

Edoardo Boncinelli
Antonio Ereditato

IL COSMO DELLA MENTE

Breve storia di come l'uomo ha creato l'Universo